

EXCO'22

RESEARCH in BUILDING ENGINEERING
INVESTIGANDO en INGENIERÍA de EDIFICACIÓN

RESEARCH in BUILDING ENGINEERING
INVESTIGANDO en INGENIERÍA de EDIFICACIÓN

EXCO'22



UNIVERSITAT
POLITECNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN



UNIVERSITAT
POLITECNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN

RESEARCH in BUILDING ENGINEERING EXCO'22

INVESTIGANDO

en INGENIERÍA de EDIFICACIÓN EXCO'22

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ETS de INGENIERÍA de EDIFICACIÓN

EDITORS **Editores**

ALBIOL IBÁÑEZ, José Ramón
ARRUÉ BURILLO, Paloma
COLLADO LÓPEZ, M^a Luisa
GIL PIQUERAS, Teresa
IBORRA LUCAS, Milagro
GANDÍA ROMERO, José Manuel
RODRIGUEZ NAVARRO, Pablo
SALINAS MARTÍNEZ, Pedro Gerardo
FERNANDEZ PLAZAOLA, Igor
COS-GAYÓN LÓPEZ, Fernando José

Universitat Politècnica de València
Universitat Politècnica de València
Universitat Politècnica de València
Universitat Politècnica de València
Universitat Politècnica de València
Universitat Politècnica de València
Universitat Politècnica de València
Universitat Politècnica de València
Universitat Politècnica de València
Universitat Politècnica de València

PUBLISHING office **Editorial:**

REPROEXPRES S.L

MAKING **Maquetación:**

ALBIOL IBÁÑEZ, José Ramón
RIVERA LEÓN, Idoia

Universitat Politècnica de València
REPROEXPRES S.L

PHOTOGRAPHY **Fotografía:**

ALBIOL IBÁÑEZ, José Ramón

Universitat Politècnica de València

ISBN: 978-84-125444-7-3

D.L: V-68-2023

ACKNOWLEDGMENTS **Agradecimientos:**



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN

CEVISAMA
International Ceramics & Bathroom Experience



UBIKO⁺
V I R A J E



**CLON
DIGITAL[®]**



INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE EXCO**SPAIN**

ALBIOL IBÁÑEZ, José Ramón	Universitat Politècnica de València
ALMENAR MUÑOZ, Mercedes	Universitat Politècnica de València
ANGULO IBÁÑEZ, Quiteria	Universitat Politècnica de València
APARICIO FERNÁNDEZ, Carolina Sabina	Universitat Politècnica de València
BONET SENACH, José Luís	Universitat Politècnica de València
BOSCH GONZÁLEZ, Montserrat	Universitat de Catalunya
CAAMAÑO MARTÍN, Estefanía	Universidad Politècnica de Madrid
CARCEL CARRASCO, Javier	Universitat Politècnica de València
CASAR FURIÓ, Maria Emilia	Universitat Politècnica de València
CHÍAS NAVARRO, Pilar	Universidad Alcalá de Henares, Madrid
COLMENERO FONSECA, Fabiola	Universitat Politècnica de València
FERNANDEZ PLAZAOLA, Igor	Universitat Politècnica de València
GANDIA ROMERO, José Manuel	Universitat Politècnica de València
GARCÍA BALLESTER, Luis V.	Universitat Politècnica de València
GARABITO LÓPEZ, Javier	Universidad de Burgos
GIL PIQUERAS, M. Teresa	Universitat Politècnica de València
GIRBÉS PÉREZ, Jorge	Universitat Politècnica de València
IBORRA LUCAS, Milagros	Universitat Politècnica de València
LLINARES MILLÁN, Jaime	Universitat Politècnica de València
LLINARES MILLÁN, María del Carmen	Universitat Politècnica de València
LÓPEZ PATIÑO, Gracia	Universitat Politècnica de València
LÓPEZ GONZÁLEZ, María Concepción	Universitat Politècnica de València
MARTÍNEZ CORRAL, Aurora	Universitat Politècnica de València
MAS BARBERÁ, Xavier	Universitat Politècnica de València
MEDINA RAMÓN, Francisco Javier	Universitat Politècnica de València
NAVARRO GARCÍA, María Luisa	Universitat Politècnica de València
NAVARRO ASTOR, Elena	Universitat Politècnica de València
PALMERO IGLESIAS, Luis	Universitat Politècnica de València
PEÑALVO LÓPEZ, Elisa	Universitat Politècnica de València
PEREIRO BARCELÓ, Javier	Universidad de Alicante
RODRÍGUEZ NAVARRO, Pablo	Universitat Politècnica de València
SALANDIN, Andrea	Universitat Politècnica de València
SALINAS MARTÍNEZ, Pedro	Universitat Politècnica de València

ITALY

BERNARDO, Graziella	Università degli Studi della Basilicata, Matera
ANDRISANI, Giuseppe	Università degli Studi della Basilicata, Matera
GUIDA, Antonella	Università degli Studi della Basilicata, Matera
GRECCHI, Manuela	Politecnico di Milano
MAININI, Andrea Giovanni	Politecnico di Milano
MALIGHETTI, Laura	Politecnico di Milano
PISANI, Marco Andrea	Politecnico di Milano
POLI, Tiziana	Politecnico di Milano
RE CECCONI, Fulvio	Politecnico di Milano

DI RUOCCO, Giacomo
SICIGNANO, Enrico

Università degli Studi di Salerno
Università degli Studi di Salerno

TURKEY

HATTAP, Sibel Onat
AYDEMIR, Olcay

Mimar Sinan Fine Arts University, Istanbul
Zeytinburnu Municipality, Istanbul

LITHUANIA

VILUTIENĖ, Tatjana
ŠAPARAUSKAS, Jonas

Vilnius Gediminas Technical University
Vilnius Gediminas Technical University

UKRAINE

YEKSAROVA, Nadia

Odessa State Academy of Civil Engineering &
Architecture

YEKSAROV, Vladimir

Odessa State Academy of Civil Engineering &
Architecture

SURIANINOV, Mykola

Odessa State Academy of Civil Engineering &
Architecture

POPOV, Oleg

Odessa State Academy of Civil Engineering &
Architecture

SYURKO, Sergey

Odessa Home Exhibition Center

POLAND

DAWCZYŃSKI, Szymon
GORSKI, Marcin
KRZYWON, Rafal
ZIÓŁKOWSKI, Patryk

Silesian University of Technology, Gliwice
Silesian University of Technology, Gliwice
Silesian University of Technology, Gliwice
Gdańsk University of Technology

CUBA

ÁLVAREZ RODRÍGUEZ, Odalys
LÓPEZ LLANUSA, Alejandro
WAINSHOTOK RIVAS, Hugo

Universidad Tecnológica de La Habana
Universidad Tecnológica de La Habana
Universidad Tecnológica de La Habana

CANADA

FRIEDMAN, Avi

McGill University, Montreal, Quebec

USA

BUNZA, Matt
GHANDEHARI, Masoud
JIN, Weihua
SUN, Xiaonuan

Massachusetts Institute of Technology (MIT)
New York University, NYC
New York University, NYC
Portland State University

SINGAPORE

NANETTI, Andrea

Nanyang Technological University. Singapore

GERMANY

HOLLERMANN, Sebastian
WESSEL, Thomas

University Jade Hochschule - Oldenburg
University Jade Hochschule - Oldenburg

CHINA

CHENG, Shidan
LAU, Stephen
SUNNIE S.Y. LAU
PALMIOLI, Andrea
HUANG, Li
CAO, Vivian

Wuhan University
Shenzhen University
MIT Hong Kong Innovation Node, MIT
City University of Hong Kong
China Academy of Art, Hangzhou
China Construction Materials & Technology
Consulting Company

The NETHERLANDS

CHAN, Paul
VISSCHER, Henk

TU Delft
TU Delft

SWITZERLAND

MALTESE, Sebastiano

University of Applied Sciences and Arts of
Southern Switzerland

RUSSIA

MAKSIMOVA, Svetlana

Perm National Research Polytechnic University

JAPAN

NIGLIO, Olimpia

Hokkaido University, Faculty of Humanities and
Human Sciences

INDEX

EDITOR	2
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE	3
CHAPTER INDEX	7
PROLOGUE	11
<u>CHAPTER 1 ECONOMY</u>	17
1.1.- METHODOLOGY FOR DESIGNING AN ENERGY COMMUNITY AND CHECKING ITS TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY. APPLICATION IN THE MUNICIPALITY OF VINALESA	19
<i>Laura Molina Cañamero / Elisa Peñalvo-López / Vicente León-Martínez / Joaquín Montañana-Romeu</i>	
1.2.- THE RECOVERY, TRANSFORMATION AND RESILIENCE PLAN AND ITS INFLUENCE ON BUILDINGS	33
<i>M^{ra} Emilia Casar Furió</i>	
1.3.- AN EXPLORATION OF THE SOCIOECONOMIC STATUS OF BAME PROFESSIONALS IN THE UK CONSTRUCTION INDUSTRY	43
<i>Emmanuel Aboagye-Nimo / Nalini Valydon / Samuel Osei-Nimo</i>	
<u>CHAPTER 2 SUSTAINABILITY</u>	55
2.1.- HYGROTHERMAL ANALYSIS OF GREEN ROOF IN SERVICE	57
<i>Júlia G. Borrás / Ángeles Mas Tomás / Carlos Lerma Elvira / Enrique Gil Benso / Jose Vercher Sanchis</i>	
2.2.- DATA DRIVEN DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SELECTING BUILDING RETROFIT STRATEGY	67
<i>Ania Khodabakhshian / Luca Rampini / Fulvio Re Cecconi</i>	
2.3.- WHAT RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES (TERs) ARE APPLICABLE TO EXISTING UNIVERSITY BUILDINGS?	77
<i>Joaquín Fuentes-del-Burgo / Elena Navarro-Astor</i>	
2.4.- STATE OF THE ART: USES OF RENEWABLE ENERGIES IN CONJUNCTION WITH THE PRIMARY AGRI-FOOD SECTOR	87
<i>Amparo León-Vinet / Elisa Peñalvo-López / Vicente León-Martínez / Joaquín Montañana-Romeu</i>	
2.5.- METHODOLOGY FOR THE REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION THROUGH THE DISCRETISATION OF ELECTRICITY LOADS IN THE RESIDENTIAL SECTOR	95
<i>Clara Andrada-Monrós / Elisa Peñalvo-López / Javier Cárcel-Carrasco / Vicente León-Martínez</i>	
2.6.- ENERGY DECARBONISATION IN SMEs. INITIAL RESULTS IN SMEMPOWER PROJECT	107
<i>Elisa Peñalvo-López / Javier Cárcel-Carrasco / Vicente León-Martínez / Iván Valencia Salazar</i>	
2.7.- CONSTRUCTION AND CLIMATE CHANGE. FROM PARIS TO CLASGOW	117
<i>Mercedes Almenar-Muñoz / Anzhela Bodina</i>	

2.8.- MONITORING THE EYE DYNAMIC REPOSE TO LIGHTING CONDITIONS WHILE PERFORMING BUILDING DESIGN ACTIVITIES	133
<i>Paolo Colombo / Juan Diego Blanco Cadena / Tiziana Poli</i>	
2.9.- LARGE SUSTAINABLE INDUSTRIAL PLANTS. CASE STUDY OF THEIR DESIGN AND CONSTRUCTION	143
<i>Javier Cárcel-Carrasco / Aurora Martínez-Corral / M^a Carmen Carnero / José Ramón Albiol-Ibáñez</i>	
2.10.- ANALYSIS OF SUSTAINABLE URBANISM AND INTRODUCTION TO THE RELATIONSHIP BETWEEN THE MOBILITY OF COMBUSTION VEHICLES AND AIR POLLUTION	153
<i>Javier Cárcel-Carrasco / Aurora Martínez-Corral / Carolina Aparicio-Fernández / Luis Palmero-Iglesias</i>	
2.11.- STUDY AND IMPROVEMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE COOLING SYSTEM BY REGULATING THE CAPACITY OF THE COMPRESSORS	163
<i>Javier Cárcel-Carrasco / Aurora Martínez-Corral / Jaime Langa-Sanchís / José Antonio Cárcel-Carrasco</i>	
2.12.- ITALY AND THE PRELIMINARY ANALYSIS OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE. THE CHALLENGES AND OPPORTUNITIES	173
<i>Javier Cárcel-Carrasco / Aurora Martínez-Corral / Fabiola Colmenero Fonseca / Consuelo Gómez-Gómez</i>	
2.13.- DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIVE SOLUTIONS AIMED AT IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS AND CITIES	183
<i>Sergio Navarro García / Arsenio Navarro Muedra</i>	
2.14.- BUILDING MATERIAL CONSIDERATIONS FOR SUSTAINABLE DWELLINGS	193
<i>Avi Friedman</i>	

CHAPTER 3 HERITAGE **209**

3.1.- ELECTRICITY TRANSFORMER TOWERS IN THE PROVINCE OF VALENCIA. AN HERITAGE IN THE OBLIVION	211
<i>Guardiola-Víllora, Arianna / Basset-Salom, Luisa</i>	
3.2.- RAILWAY HOUSING IN VALENCIA. NOTES ON THE REGULATORY CONTEXT AND CASE STUDIES (1941-1989)	221
<i>Aurora Martínez-Corral / Javier Cárcel-Carrasco / M^a Carmen Carnero Moya / Luis Palmero Iglesias</i>	
3.3.- REPRESENTATIVE IDENTIFICATION OF THE REAL COLLEGE SEMINAR OF CORPUS CHRISTI IN ITS PUBLIC VISIT	231
<i>Concepción López González / M^a José Viñals Blasco / Jorge Luis García Valldecabres / Luis Cortés Meseguer</i>	
3.4.- PROPOSALS FOR THE CONSERVATION OF ARCHITECTURAL ELEMENTS PRESENT IN THE FACADES OF THE CABANYAL	241
<i>Quiteria Angulo Ibáñez / Paula Carabal Maestro</i>	
3.5.- RECONSTRUCTION OF THE ASSUMPTION CHURCH IN CHERDYN (RUSSIA) BASED ON INFORMATION MODELING	251
<i>Maksimova Svetlana Valentinovna / Semina Anastasia Evgenievna</i>	
3.6.- THE CONSERVATION OF THE ARCHITECTURAL HERITAGE THROUGH HBIM	263
<i>Jorge Luis García Valldecabres / Concepción López González / Luis Cortés Meseguer / Antonio Galiano Garrigós</i>	
3.7.- NEW MODELS FOR PUBLIC VISITS TO HERITAGE BUILDINGS. THE AVATAR TOURIST VISIT	273
<i>María José Viñals/ Anna Sanasaryan / Elena Salvador García / Luis Cortés Meseguer</i>	
3.8.- HERITAGE VALUES OF VALENCIA'S CATHEDRAL FOR ITS CULTURAL VISIT	283
<i>Luis Cortés Meseguer / Concepción López González / Jorge Luis García Valldecabres / M^a José Viñals Blasco</i>	

3.9.- STRATEGIES AND CONSIDERATIONS OF SUSTAINABLE MATERIALS. EXECUTIVE PROJECT FOR THE DIGNIFICATION OF THE TEMPLO DE LA MISERICORDIA "EL HOSPITALITO". PARTE 1	293
<i>Fabiola Colmenero Fonseca / Ma. de la Luz Ávila Hernández / Luis Manuel Palmero Iglesias / Francisco Javier Cárcel Carrasco / Graziella Bernardo</i>	
3.10.- THE ALABASTER ALTARPIECE OF THE HOLY CHALICE OF VALENCIA CATHEDRAL. CONSIDERATIONS AND CLEANING STRATEGY	309
<i>S. Martínez-Hurtado / S. Kröner / X. Mas-Barberà</i>	
3.11.- CERAMICS IN THE NORTH STATION OF VALENCIA. THE NECESSARY MATERIAL-CONSTRUCTIVE REGISTRATION	321
<i>Aurora Martínez-Corral / Javier Cárcel-Carrasco / M^o Carmen Carnero Moya / Luis Palmero Iglesias</i>	
3.12.- STRATEGIES AND CONSIDERATIONS OF SUSTAINABLE MATERIALS. EXECUTIVE PROJECT FOR THE DIGNIFICATION OF THE TEMPLO DE LA MISERICORDIA "EL HOSPITALITO". PARTE 2	331
<i>Fabiola Colmenero Fonseca / Ma. de la Luz Ávila Hernández / Luis Manuel Palmero Iglesias / Francisco Javier Cárcel Carrasco / Graziella Bernardo</i>	
3.13.- THE RESTORATION OF BURGOS CATHEDRAL. THE HIGH CLOISTER	347
<i>Javier Garabito López</i>	
 CHAPTER 4 <i>TECHNOLOGY</i>	 359
 4.1.- LATERAL BUCKLING OF STEEL BEAMS. COMPARED ANALYSIS OF CTE DB SE-A, EAE AND EC3 CODES	 361
<i>Arianna Guardiola-Víllora / Agustín Perez-García</i>	
4.2.- RESEARCH ON STRENGTH PROPERTIES OF THE GEOPOLYMER MORTAR AS AN INNOVATIVE AND ECO-FRIENDLY ALTERNATIVE MATERIAL FOR PORTLAND CEMENT BASED MORTARS	371
<i>Agnieszka Kocur / Szymon Dawczyński</i>	
4.3.- THE TOLEDO STATION OF THE UNDERGROUND METRO STATION OF NAPLES, ITALY: ARCHITECTURE, CONSTRUCTION, MATERIALS	383
<i>Enrico Sicignano / Pierfrancesco Fiore / Rossella Marmo / Emanuela D'Andria/ Carmelo Falce / Ilaria Perrotta</i>	
4.4.- ANALYSIS AND COMPARISON OF TWO HYPAR SHELLS	397
<i>Quiteria Angulo Ibáñez / Luis Almenar Fernández</i>	
4.5.- ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF THE HYBRID TRUSSES OF THE MILSTEIN HALL OF OMA VS. OTHER POSSIBLE SOLUTIONS	407
<i>Quiteria Angulo Ibáñez / George-Nikolas Caicedo-Pratt</i>	
4.6.- FROM PREFABRICATION TO INDUSTRIALIZATION	417
<i>Cristina Gracia Lanzarote / Igor Fernández Plazaola</i>	
4.7.- OPTIMISATION METHODOLOGY TO MAXIMISE THE ECONOMIC BENEFITS OF THE AGGREGATOR ON ITS CUSTOMER BASE	427
<i>Jorge Cano Martínez / Elisa Peñalvo-López / Vicente León Martínez / Iván Valencia Salazar</i>	
4.8.- APPLICATION OF SPATIAL LOCATION TECHNIQUES IN THE DIAGNOSIS OF BUILDING STRUCTURES USING A DRONE	437
<i>Jarosław Domin / Roman Czyba / Marcin Górski / Paweł Piórkowski / Jacek Grzybowski / Michał Nerwiński / Dawid Rudy / Radostaw Rosiek / Kamil Niziołek</i>	
4.9.- LEAN TOOLS APPLICATION TO THE 2D'S INDUSTRIALIZATION PROCESS IN BUILDINGS	447
<i>Milagro Iborra Lucas / Lisseth Sáenz Lama</i>	
4.10.- CORROSION MONITORING ON REINFORCED CONCRETE SLABS. Part 1	457
<i>Josep Ramon Lliso-Ferrando / Erika Juliana Pacheco-García / Isabel Gasch Molina / Ana Martínez-Ibernón / José Manuel Gandía-Romero / Manuel Valcuende Payá / Juan Soto Camino</i>	
4.11.- CORROSION MONITORING ON REINFORCED CONCRETE SLABS. Part 2	467
<i>Josep Ramon Lliso-Ferrando / Erika Juliana Pacheco-García / Isabel Gasch Molina / Ana Martínez-Ibernón / José Manuel Gandía-Romero / Manuel Valcuende Payá / Juan Soto Camino</i>	

4.12.- EFFICIENT MANAGEMENT OF THE PUBLIC USE OF ARCHITECTURAL HERITAGE THROUGH AN HBIM PROTOCOL	477
<i>Elena Salvador-García / M^a José Viñals-Blasco / Jorge Luis García-Valldecabres / Concepción López-González</i>	

4.13.- ACOUSTIC BEHAVIOR OF THE FIRST 3D PRINTED BUILDING IN SPAIN	485
<i>Andrea Salandin / Ignacio Guillen / Alberto Quintana / Vicente Gómez</i>	

<u>CHAPTER 5</u>	<i>TOWN PLANNING</i>	497
-------------------------	-----------------------------	------------

5.1.- ARCHITECTURAL EVOLUTION OF THE JAPANESE HOUSE	499
<i>Quiteria Angulo Ibáñez / Francisco Oña Tudela</i>	

5.2.- PREFAB HOUSES: TOWARDS AN ARCHETYPE A REVIEW OF CONTEMPORARY SOLUTIONS	509
<i>Federico Cavaliere / Marianna Rotilio / Pierluigi De Berardinis / Luis Palmero Iglesias</i>	

<u>CHAPTER 6</u>	<i>HUMAN RESOURCES</i>	521
-------------------------	-------------------------------	------------

6.1.- KNOWLEDGE MANAGEMENT APPLICATION IN MAINTENANCE ENGINEERING, ITS ANALYSIS AND PERCEPTION FROM MAINTENANCE TECHNICIANS	523
<i>Javier Cárcel-Carrasco / Aurora Martínez-Corral / M^a Carmen Carnero / José Ramón Albiol-Ibáñez</i>	

6.2.- REALITY AND PROBLEMS IN INFORMAL SETTLEMENTS IN LATIN AMERICA	533
<i>Mirian Guillén Vivas / Fernando Cos-Gayón López</i>	

PRÓLOGO DIRECTOR ETS de INGENIERÍA de EDIFICACIÓN

Este 2022 ha sido un año muy especial para la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de Valencia, pues hemos celebrado nuestros 50 años de vida, reviviendo esa historia y edificando sobre ella nuestro futuro. Y, en esta historia, EXCO, el Salón Tecnológico de la Construcción, que siempre ha sido un hilo conductor que une, vertebra y nos alienta, desde hace décadas, para que nuestros sueños no tengan límites.

Han sido muchos años de trabajo, desvelos y esfuerzos compartidos; compañeros que lideraron cada edición con entusiasmo, orientación y convencimiento. Y, en estas últimas ediciones, con la visión y entrega del director de EXCO, profesor José Ramón Albiol, se ha posicionado este evento a nivel internacional, con unos resultados tan espectaculares como motivadores. Así lo hemos podido comprobar en esta EXCO 2022, pudiendo concluir que, una vez más, hemos superado los objetivos marcados, aun en estos inciertos tiempos de pandemia.

Por lo que respecta a la “Exposición de Tecnología e Investigación en Edificación”, su comité científico internacional seleccionó un total de 103 paneles y 48 artículos, lo que sitúa este certamen en un referente para los investigadores del sector de la edificación, tanto nacionales como de otros países. De igual modo, resaltar la calidad de las conferencias impartidas, el alto nivel de los conferenciantes y el interés de las actividades desarrolladas.

Una de nuestras principales aspiraciones ha sido su internacionalización y que las 63 universidades participantes pudieran mostrar sus investigaciones en la exposición, por lo que, a lo largo de este año, será itinerante por algunas de estas instituciones internacionales.

Por último, quiero transmitir, en nombre de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universitat Politècnica de València, el agradecimiento a CEVISAMA por el apoyo a este evento, y el reconocimiento al profesor José Ramón Albiol Ibáñez y a todo su equipo que, con su trabajo y dedicación, lo han hecho posible.

Y ahora, seguimos convencidos de que EXCO 2023 superará de nuevo las expectativas y disfrutaremos de este prestigiado evento.

Dr. Fernando José Cos-Gayón López
Director de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación

PROLOGUE ETS DIRECTOR of BUILDING ENGINEERING

This 2022 has been a very special year for the ETS of Building Engineering of Valencia, as we have completed 50 years of life, an event to celebrate, reliving that history and building our future on it. And, in this story, EXCO, the Construction Technology Exhibition, is being a common thread that unites, backs up and encourages us, for decades, so that our dreams have no limits.

They have been many years of work, care and shared efforts; colleagues who led each edition with enthusiasm and conviction. And, in recent editions, the director of EXCO, Professor José Ramón Albiol, has positioned this event internationally, with results that are as spectacular as they are motivating. This is how we have been able to verify this in this EXCO 2022, being able to conclude that, once again, we have exceeded the objectives set, even in these uncertain times of pandemic.

Regarding the "Exhibition of Technology and Research in Building", its international scientific committee selected a total of 103 panels and 48 articles, which places this event in a benchmark for researchers in the building sector, both national and from other countries. Similarly, highlight the quality of the lectures given, the high level of the speakers and the interest of the activities carried out.

One of our main aspirations has been its internationalization and that the 63 participating universities could show their research in the exhibition, which is why, throughout this year, it will be traveling through some of these international institutions.

Finally, I would like to convey, on behalf of the ETS of Building Engineering of the Polytechnic University of Valencia, the gratitude to CEVISAMA for supporting this event, and as I mentioned before, to Professor José Ramón Albiol Ibáñez and all his team that, with their work and dedication, have made it possible.

And now, we remain convinced that EXCO 2023 will once again exceed expectations and we will enjoy this prestigious event.

Dr. Fernando José Cos-Gayón López
Director of the ETS of Building Engineering

PROLOGUE DIRECTOR EXCO'22

The Faculty of Building Engineering of the UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA - SPAIN, organized on June 13th to 17th, 2022, "The XXXVI Construction Technology Exhibition" EXCO'22 and the International Itinerant Exhibition "Research in Building Engineering" along year.

Conferences are scheduled in UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA - SPAIN, the speakers are national and international of recognized prestige from Europe, Asia and America. These conferences are aimed at professionals and students of the UPV to broaden their knowledge and experiences.

EXCO'22 promotes the entrepreneurship of the young UPV generations, participation in conferences.

The International Itinerant Research Exhibition EXCO'22 has the collaboration of 63 Universities from America, Europe, Africa, Asia and Oceania. Promoting collaboration between institutions and professors at the international level.

It fosters interdisciplinary collaboration of the professor staff within the UPV with 63 International Universities; It has the participation of 9 departments and 8 research institutes of the UPV in EXCO'22.

The participating entities are:

Universities:

1. *Universitat Politècnica de València, España.*
2. *Politecnico di Milano, Italia.*
3. *Mimar Sinan Fines Arts University, Istanbul, Turkey.*
4. *Nottingham Business School, England.*
5. *Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania.*
6. *Universidad de Costa Rica*
7. *Università degli Studi di Basilicata, Matera, Italia.*
8. *Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba.*
9. *Università degli Studi Firenze, Italia*
10. *Università di Pavia, Italia.*
11. *Odessa State Academy of Civil Engineering & Architecture, Odessa, Ukraine*
12. *Università di Salerno, Italia.*
13. *Silesian University of Technology, Politechnika Śląska, Gliwice, Poland.*
14. *University of British Columbia, Vancouver, Canada.*
15. *Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, España.*
16. *Florida A&M University, Florida, USA.*
17. *Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.*
18. *Universidad de la República (UdelaR) de Uruguay.*
19. *Universidad John F. Kennedy, Argentina.*
20. *Universidad de Castilla-La Mancha, España.*
21. *Universidad de Granada, España.*
22. *Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Napoli.*
23. *Politecnico di Bari, Italia.*
24. *Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", Italia.*
25. *Hanze University of Applied Sciences, Groningen. Nederland.*
26. *Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg, Germany.*
27. *New York University, Tandon School of Engineering. USA.*
28. *McGill University, Canada*
29. *Nanyang Technological University, Singapore.*
30. *University of New South Wales, Sydney, Australia.*

31. *Università di Pisa, Italia.*
32. *Universidad de Ibagué, Colombia.*
33. *Beijing Yong Shan Media Co., Ltd. Pekin*
34. *Università degli Studi dell'Aquila, Italia.*
35. *Universitat Jaume I, Castellón, España.*
36. *University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland*
37. *Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement /ETH Zürich*
38. *University North, Varaždin, Croacia*
39. *South Ukrainian National Pedagogical University, Odessa, Ukraine.*
40. *Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine.*
41. *Universitat de València, Spain.*
42. *Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia*
43. *University of Cape Town, South Africa.*
44. *National University of Singapore.*
45. *TU Delft, The Netherlands.*
46. *Politecnico di Torino, Italy.*
47. *Wuhan University, Wuhan, China.*
48. *University of Oregon, USA.*
49. *City-University of Hong Kong.*
50. *Shenzhen University School of Architecture, Shenzhen, China.*
51. *Hokkaido University, Sapporo, Japan*
52. *Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.*
53. *Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.*
54. *Universidad Católica de Valencia. España.*
55. *Universidad UTE. Quito. Ecuador.*
56. *Universidad de Napoles Federico II, Napoles, Italy.*
57. *Telematic University Pegaso, Italy.*
58. *University of Guanajuato, México.*
59. *University of La Salle Bajío, México*
60. *Universidad Jesuita de Guadalajara, ITESO, México*
61. *Tecnológico de Monterrey. México.*
62. *MIT Massachusetts Institute of Technology. USA.*
63. *Gdańsk University of Technology, Poland.*

Thank you all for making EXCO possible.

All the best for EXCO'23!

Best Regards

Dr. José R. Albiol-Ibáñez

***Vice Dean International Relations, Employment, Business Cathedra & Entrepreneurship
Director EXCO'22***

ETS Building Engineers - Building 1B

Camino de Vera S/N 46022 Valencia SPAIN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

CHAPTER 1

ECONOMY

CAPÍTULO 1 ECONOMÍA

METODOLOGÍA PARA DISEÑAR UNA COMUNIDAD ENERGÉTICA Y COMPROBAR SU VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA. APLICACIÓN EN EL MUNICIPIO DE VINALES

METHODOLOGY FOR DESIGNING AN ENERGY COMMUNITY AND CHECKING ITS TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY. APPLICATION IN THE MUNICIPALITY OF VINALES

Laura Molina Cañamero

*Investigadora en el Instituto de Ingeniería Energética de la Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. E-mail: laumocaa@upvnet.upv.es
Researcher at the Institute of Energy Engineering of the Polytechnic University of Valencia, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain.*

Elisa Peñalvo-López

*PhD. por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: elpealpe@upvnet.upv.es
Ph D. from the Universitat Politècnica de Valencia. Institute of Energy Engineering of the UPV. Polytechnic University of Valencia. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain.*

Vicente León-Martínez

*Investigador en el Instituto de Ingeniería Energética; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Catedrático de Escuela Universitaria, Doctor en Ingeniería Industrial, UPV. E-mail: vleon@die.upv.es
Researcher at the Institute for Energy Engineering; Universitat Politècnica de Valencia, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. Associated Professor. PhD in Industrial Engineering, UPV.*

Joaquín Montañana-Romeu

*Investigador en el Instituto de Ingeniería Energética; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Catedrático de Escuela Universitaria, Doctor en Ingeniería Industrial, UPV. E-mail: jmontanana@die.upv.es
Researcher at the Institute for Energy Engineering; Universitat Politècnica de Valencia, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. Associated Professor. PhD in Industrial Engineering, UPV.*

Resumen

Las comunidades energéticas son un nuevo modelo de gestión de la energía que pretende aprovechar los recursos energéticos locales y hacer partícipes a los diferentes agentes sociales del entorno en pos de obtener beneficios energéticos, medioambientales, sociales y económicos.

Sin embargo, aún faltan en la literatura pautas concisas que traten los aspectos más técnicos de las comunidades energéticas. El objetivo de esta investigación ha sido desarrollar una metodología que sirva como guía para el diseño de nuevas comunidades energéticas según las condiciones del entorno así como para comprobar su viabilidad técnica y económica. La metodología, que se apoya en el software Homer Grid para las simulaciones y optimizaciones de los posibles escenarios energéticos, se ha aplicado a un caso práctico que es el diseño de una comunidad energética en el pueblo de Vinalsa. Se han determinado y dimensionado los activos de generación con energía renovable necesarios para la comunidad energética así como su nueva tarifa eléctrica y se ha podido comprobar gracias a esta metodología que, efectivamente, las comunidades energéticas pueden ser uno de los principales bastiones para la transición energética al lograr un sistema energético más eficiente, accesible, inclusivo y respetuoso con el medio ambiente.

Abstract

Energy communities are a new model of energy management that aims to harness local energy resources and involve the different social actors in the environment in pursuit of energy, environmental, social and economic benefits.

However, there is still a lack of concise guidelines in the literature dealing with the more technical aspects of energy communities. The aim of this research has been to develop a methodology to guide the design of new energy communities according to environmental conditions and to test their technical and economic feasibility. The methodology, which is supported by Homer Grid software for simulations and optimisations of possible energy scenarios, has been applied to a practical case, which is the design of an energy community in the village of Vinalsa. The renewable energy generation components required for the energy community and its new electricity tariff have been determined and sized, and it has been possible to verify, thanks to this methodology, that energy communities can indeed be one of the main pillars for the energy transition by achieving a more efficient, accessible, inclusive, and environmentally friendly energy system.

Keywords: Energy community, energy transition, energy democracy, prosumer, social economy.

Introducción

Hasta hace poco, las agrupaciones que fundamentalmente podrían asimilarse a las comunidades energéticas de hoy en día carecían de un estatuto claro en la legislación de la Unión Europea y en las legislaciones nacionales, y adoptaban diferentes formas de acuerdos jurídicos como pueden ser las cooperativas energéticas. Sin embargo, estos últimos años han adquirido el reconocimiento como figura jurídica en el nuevo marco legislativo de la UE conformado por la Directiva (UE) 2018/2001 relativa al fomento del uso de Energía procedente de fuentes Renovables y la reciente Directiva (UE) 2019/944 sobre normas comunes para el Mercado Interior de la Electricidad. Se trata de un concepto incipiente que aún está terminándose de adaptar a los diferentes países miembros de la UE. En España, este concepto queda recogido por primera vez en el Real Decreto-ley 23/2020 por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica. Sin embargo, a pesar de ya se están empezando a crear los primeros planes de fomento para las Comunidades Energéticas en algunas comunidades autónomas, falta aún un marco regulatorio mejor detallado, guías más técnicas y concisas para facilitar su configuración y una mayor concienciación de la ciudadanía para generar confianza y que estas puedan realmente abrirse camino en el mercado energético (Capellán-Pérez *et al*, 2018).

Hoy en día aún es difícil encontrar documentación que abarque los aspectos más técnicos del diseño de las comunidades energéticas ya que es algo que están empezando a hacer las empresas privadas del sector energético y a nivel público hay poco más que guías orientativas como la del (IDAE, 2019) o el manual de la Coalición Europea por la Energía Comunitaria (Friends of the Earth Europe *et al*, 2021) que intentan ampliar las definiciones recogidas en las directivas y poner algunos casos de estudio, pero sin entrar en detalle en los aspectos más técnicos que son necesarios para poder configurar una comunidad energética y estudiar su potencial y viabilidad. Con este artículo se pretende ampliar la escasa literatura que hay en este aspecto y arrojar un poco de luz sobre los aspectos más técnicos que atañen al diseño de comunidades energéticas, a través de una metodología y su aplicación en un caso práctico para servir de apoyo en el dimensionamiento de los activos de generación de la comunidad y la tarifa eléctrica según las condiciones del entorno.

Previo al desarrollo de la metodología se han estudiado varios casos existentes de cooperativas energéticas, especialmente de países del noroeste en países con fuertes tradiciones comunitarias como Alemania o Suecia (Caramizaru A., Uihlein A., 2020) y también se ha estudiado la estructura organizativa de las primeras comunidades energéticas que están surgiendo en España como Comptem (EnerCoop Grupo, 2019) o CER Sapiens Energía (Sapiens,2020).

Introduction

Until recently, groupings that could essentially be assimilated to today's energy communities lacked a clear status in EU and national legislation, and took different forms of legal arrangements such as energy cooperatives. However, in recent years they have gained recognition as a legal figure in the new EU legislative framework shaped by Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of Energy from Renewable Sources and the recent Directive (EU) 2019/944 on common rules for the Internal Electricity Market. It is an incipient concept that is still in the process of being adapted to the different EU member states. In Spain, this concept is included for the first time in Royal Decree-Law 23/2020, which approves measures in the field of energy and other areas for economic reactivation. However, even though the first promotion plans for Energy Communities are starting to be created in some autonomous communities, there is still a lack of a more detailed regulatory framework, more technical and concise guidelines to facilitate their configuration and greater public awareness to generate confidence so that they can really make their way in the energy market (Capellán-Pérez *et al*, 2018).

Nowadays, it is still difficult to find documentation that covers the more technical aspects of the design of energy communities, as this is something that private companies in the energy sector are beginning to do, and at the public level there is little more than guidelines such as that of (IDAE, 2019) or the manual of the European Community Energy Coalition (Friends of the Earth Europe *et al*, 2021), which attempt to expand on the definitions contained in the directives and provide some case studies, but without going into detail on the more technical aspects that are necessary to configure an energy community and study its potential and viability. This article aims to expand on the scarce literature on this aspect and shed some light on the more technical aspects of the design of

energy communities, through a methodology and its application in a practical case to support the sizing of the community's generation assets and the electricity tariff according to the conditions of the environment.

Prior to the development of the methodology, several previous cases of energy cooperatives have been studied, especially from northwestern countries with strong community traditions such as Germany or Sweden (Caramizaru A., Uihlein A., 2020) and the organisational structure of the first energy communities that are emerging in Spain such as Comptem (EnerCoop Grupo, 2019) or CER Sapiens Energía (Sapiens,2020) has also been studied.

Metodología

La metodología desarrollada es una hoja de ruta que tiene en cuenta los parámetros técnicos y económicos más importantes a la hora de diseñar una comunidad energética eficiente y viable. De entre los diferentes alcances posibles de comunidad energética, esta metodología se ajusta a aquellas conectadas a la red general, con activos de generación de energía renovable a partir de los recursos de la zona y con un reparto de beneficios equitativo para todos los miembros. Como se puede observar en la Figura 1, consta de 3 fases diferenciadas en función de la decisión que nos ayudarán a tomar y de cada una de ellas se va obteniendo información clave que nos servirá de guía para poder ir refinando y optimizando el diseño de la Comunidad Energética.

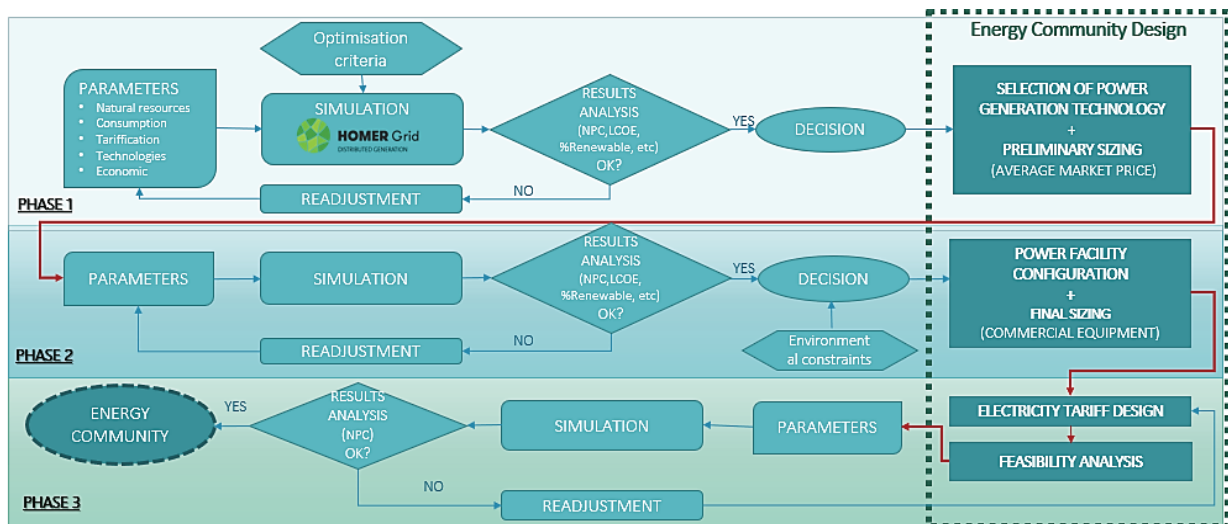


Figura 1 Esquema de la metodología para el diseño de la Comunidad Energética
 Figure 1 Diagram of the methodology for the design of the Energy Community

Fase 1: Elección de la tecnología de generación y dimensionamiento preliminar.

En esta fase definen los parámetros de entrada que hay que tener en cuenta para realizar el diseño de la comunidad energética y que son: los recursos naturales y las condiciones meteorológicas del entorno; los consumos energéticos horarios de los miembros durante un periodo de tiempo representativo; la tarifa actual a la que se adquiere la energía de la red; las tecnologías de generación a considerar con los parámetros de operación y los costes de inversión, reemplazo, operación y mantenimiento típicos; y algunos parámetros económicos como la tasa de descuento real, la vida útil del proyecto o los incentivos.

Como herramienta de cálculo se utiliza el software Homer Grid ya que es capaz de simular y optimizar diferentes escenarios energéticos en función de los parámetros de entrada. Las variables energéticas que intervienen en cada escenario son el tamaño (en kW) de cada tecnología de generación, el número de baterías y el tamaño del convertidor eléctrico en caso de ser necesario. En cada simulación se calcula, para cada paso de tiempo, el comportamiento y rendimiento del sistema y sus costes a lo largo de la vida útil, hasta que se alcanza una solución óptima cuando el criterio de convergencia de las variables energéticas indicadas y el del coste actual neto convergen.

Como salida muestra los valores económicos, energéticos y medioambientales más relevantes del conjunto de simulaciones realizadas y clasifica los escenarios resultantes según el criterio de

optimización que nos interese. El primer criterio suele ser el coste actual neto o del ciclo de vida, NPC (€), que nos dice a voz de pronto si el sistema simulado es más económico o menos que el escenario base y cuánto. Este parámetro, junto con el coste nivelado de la energía o LCOE (€/kWh), son los dos resultados claves para entender si la solución es conveniente o si es necesario seguir iterando. El LCOE nos da un valor de lo que le costaría a cada sistema o escenario energético simulado producir la energía considerando el coste promedio total de construir, operar y mantener la central eléctrica y dividiéndolo entre la energía útil total que genera la planta durante toda su vida útil. Además de estos dos parámetros, también son muy importantes para la toma de decisiones, la fracción de renovables resultante, el exceso de energía del sistema, el periodo de recuperación de la inversión y el TIR. En base a estos resultados, se va afinando cada más las condiciones de partida hasta lograr un diseño que se ajuste a nuestras necesidades.

Esta primera fase nos servirá para elegir las tecnologías energéticas que mejor se adapten a cada caso y obtener un dimensionamiento preliminar de las mismas.

Fases 2: Configuración y dimensionamiento final de la planta de generación con componentes comerciales.

Con de la información obtenida en la fase I, donde se descartan ciertas tecnologías de generación y se obtiene el dimensionamiento preliminar de las seleccionadas, tenemos un buen punto de partida para saber en qué rango de potencia tenemos que buscar los equipos comerciales de nuestra comunidad. Se pueden tomar diferentes modelos y compararlos al realizar de nuevo simulaciones en Homer Grid para obtener resultados y rendimientos más realistas y precisos. Además, en este punto se deben considerar las restricciones del entorno como puede ser el espacio disponible para instalar los activos de generación y decantarse por unos modelos u otros.

Fase 3: Diseño de la nueva tarifa eléctrica y análisis de viabilidad económica.

Finalmente, para el diseño de la nueva tarifa eléctrica de la comunidad partimos del coste nivelado de la electricidad (LCOE) obtenido en la simulación ganadora de la Fase II. Lo que se pretende al diseñar la nueva tarifa es que se refleje el autoconsumo compartido de la nueva comunidad energética pero manteniendo la estructura tarifaria y los periodos que tiene actualmente la cooperativa eléctrica. Para ello se va a hacer una extrapolación lineal como se verá más adelante.

Methodology

The methodology developed is a roadmap that considers the most important technical and economic parameters when designing an efficient and viable energy community. Among the different possible scopes of energy communities, this methodology is adjusted to those connected to the general grid, with renewable energy generation assets from local resources and with an equitable distribution of benefits for all members. As can be seen in Figure 1, it consists of 3 different phases depending on the decision that will help us to make, each of which provides key information that will serve as a guide to refine and optimise the design of the Energy Community.

Phase 1: Choice of generation technology and preliminary sizing.

In this phase they define the input parameters to be taken into account for the design of the energy community, which are: the natural resources and meteorological conditions of the environment; the hourly energy consumption of the members during a representative period of time; the current tariff at which energy is purchased from the grid; the generation technologies to be considered with the operating parameters and the typical investment, replacement, operation and maintenance costs; and some economic parameters such as the real discount rate, the useful life of the project or the incentives.

The Homer Grid software is used as a calculation tool as it is able to simulate and optimise different energy scenarios depending on the input parameters. The energy variables involved in each scenario are the size (in kW) of each generation technology, the number of batteries and the size of the electrical converter if necessary. In each simulation, for each time step, the behaviour and performance of the system and its costs over the lifetime are calculated, until an optimal solution is reached when the convergence criterion of the indicated energy variables and the net present cost converge.

As output, it shows the most relevant economic, energy and environmental values of the set of simulations carried out and classifies the resulting scenarios according to the optimisation criterion of interest. The first criterion is usually the net present or life cycle cost, NPC (€), which tells us at a glance whether the simulated system is cheaper or cheaper than the base scenario and by how much. This parameter, together with the levelized cost of energy or LCOE (€/kWh), are the two key results to understand if the solution is suitable or if further iteration is necessary. The LCOE gives us a value of what it would cost each simulated energy system or scenario to produce the energy by considering the total average cost of building, operating and maintaining the power plant and dividing it by the total useful energy generated by the plant over its lifetime. In addition to these two parameters, the resulting renewable fraction, the excess energy of the system, the payback period and the IRR are also very important for decision making. Based on these results, the starting conditions are further refined until a design that meets our needs is achieved.

This first phase will help us to choose the energy technologies that are best suited to each case and to obtain a preliminary dimensioning of the same.

Phase 2: Configuration and final sizing of the generation plant with commercial components.

With the information from phase I, where some generation technologies are discarded and the preliminary sizing of the selected ones is obtained, there is a good starting point to know the size of the commercial equipment of our community. Different models can be taken and compared when running simulations again in Homer Grid to obtain more realistic and accurate results. In addition, environmental constraints such as the space available to install the generation equipment should be considered at this point and the choice of one model or another should be made.

Phase 3: Design of the new electricity tariff and economic viability analysis.

Finally, for the design of the new electricity tariff for the community, we start from the levelized cost of electricity (LCOE) obtained in the winning simulation of Phase II. The aim of designing the new tariff is to reflect the shared self-consumption of the new energy community while maintaining the tariff structure and the periods currently used by the electricity cooperative. To this end, a linear extrapolation will be made, as will be seen below.

Aplicación al caso práctico

El objetivo es diseñar una comunidad de energías renovables en el pueblo de Vinalesa, el cual cuenta actualmente cooperativa eléctrica autóctona, encargada de la distribución y comercialización de electricidad a los habitantes, comercios e industrias del pueblo. Sin embargo, toda la electricidad suministrada se compra de la red general, por lo que parece muy conveniente plantear la implementación de activos de generación locales, aprovechando la infraestructura de distribución de la que son propietarios, la estructura social y la comercializadora cooperativista para dar el paso y convertirse en una comunidad energética que genera y consume su propia energía.

Fase 1: Elección de la tecnología de generación y dimensionamiento preliminar.

Los recursos naturales disponibles en Vinalesa son el solar y eólico cuyos valores para un año se tomaron de la base de datos de la NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER). También se consideró la temperatura de la zona ya que influye considerablemente en la calidad de funcionamiento de los componentes y en su deterioro a lo largo de la vida útil.

Los consumos eléctricos que se consideraron para las simulaciones se obtuvieron de mediciones reales tomadas en 5 de los centros de transformación del pueblo durante varios meses e incluían consumos cuarto horarios de residenciales, comercios y entidades públicas. Posteriormente se tipificaron las curvas de demanda horaria para días laborales, sábados y domingos y festivos como se puede observar en la Figura 2. Además, para estimar el resto de demanda horaria a lo largo de todo el año, se han sintetizado curvas de demanda mensuales, añadiéndole una variabilidad típica por estacionalidad más una variabilidad aleatoria del 10% entre días del mes y también entre horas del día.

En la curva agregada los mínimos de energía total consumida vendrían marcados principalmente por el consumo de la empresa industrial ya que necesita tener las cámaras de congelado conectadas siempre, mientras que los máximos los marcaría el consumo residencial, que es el mayor y el más determinante en la muestra. El promedio horario de la demanda total a lo largo del año es del orden de 327.11 kWh y el pico de potencia máxima es de 766.13 kW.

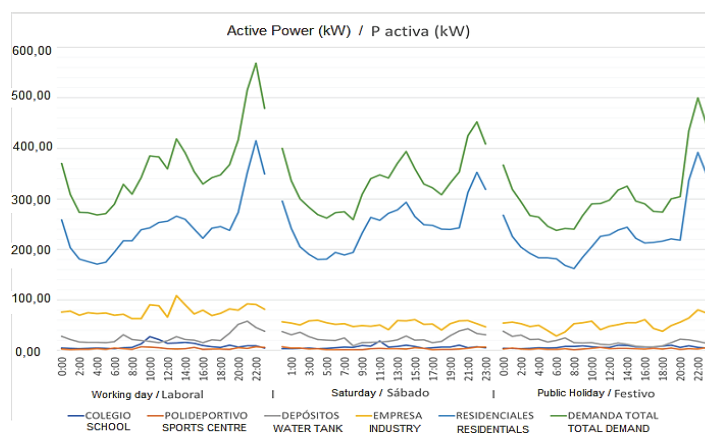


Figura 2 Curva de demanda por perfiles de consumo y agregada en primavera
Figure 2 Demand curve by consumption profile and aggregated in spring

La tarificación de la energía comprada de la red se va a hacer considerando la tarifa que tenía la comercializadora de Vinalsa. En el caso base o caso actual de Vinalsa, se comparará toda la energía de la red, mientras que en los escenarios de estudio solo se comparará el porcentaje que no se logre cubrir con los activos propios y las baterías.

SISTEMA DE CONVERSIÓN	
Eficiencia del inversor	95%
Eficiencia del rectificador	95%
Vida útil	15 años
Inversión capital	150€/kW
Coste de reemplazamiento	110€/kW

Las tecnologías de generación consideradas son placas fotovoltaicas, aerogeneradores, el inversor y baterías de diferentes tecnologías para comparar (Plomo Ácido, Ion de Litio y flujo redox de Vanadio). Los parámetros y costes escogidos que se muestran en las siguientes tablas, son valores típicos a día de hoy y fueron extraídos de diferentes estudios de la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA, 2020) y (IRENA,2017)

Los parámetros económicos considerados fueron 25 años de vida útil del proyecto, un 5.88% de tasa de descuento real y un coste fijo adicional de O&M de la planta de 20.000€/año.

Fase 2: Configuración y dimensionamiento final de la planta de generación con componentes comerciales.

En esta fase partimos de los resultados obtenidos en la fase I, donde se han descartado la energía eólica y el almacenamiento con baterías de plomo y vanadio y se ha optado por la FV, las baterías de Ion-Litio y la red para configurar el sistema híbrido. Además se ha obtenido un dimensionamiento preliminar de estos elementos para buscar modelos comerciales que se adapten a ese rango. Algunos de los equipos comerciales considerados y algunas de sus características principales se muestran en la tabla 5. En esta segunda simulación, se han tomado diferentes modelos y se ha ido iterando hasta obtener unos resultados lo suficientemente buenos.

Tabla 1 Tecnologías comerciales consideradas para la comunidad energética

TECNOLOGÍA	Modelo	Características principales	Coste de inversión	Vida útil
Energía fotovoltaica	Modulo Fotovoltaico A-330p Ultra	330 W	500€/módulo	25 años
Módulos de las baterías	LGChem M48126P3B (2P)	126 Ah / 6,44kWh	5000 €	10 años
	EnerDel Secure plus	168 Ah / 101 kWh	45.000 €	10 años
	Tesla PowerPack 2	553 Ah / 210 kWh	150.000 €	10 años
Sistema de conversión	Inversor Centralizado Sinexcel 500 Kw	500 kW	76.500€	10 años

Los parámetros de entrada relacionados con los recursos naturales, los consumos y la tarifa eléctrica se han dejado igual que en la fase 1, con la excepción de la adición de un coste de capital fijo adicional de 100.000€ a los parámetros económicos para tener en cuenta todos aquellos elementos de la instalación adicionales como puede ser el sistema anti-vertido y hacer más conservador el sistema.

Fase 3: Diseño de la nueva tarifa eléctrica y análisis de viabilidad económica.

Para el diseño de la nueva tarifa se actúa solo sobre el término de energía y el término de potencia se deja igual al de las tarifas actuales de la cooperativa, ya que es un término prácticamente regulado en su totalidad.

Primeramente, hay que encontrar relaciones dentro de las tarifas actuales de Vinalesa para poder utilizarlas en el diseño de la nueva tarifa. Se va a partir de la tarifa 2.0TD y luego se trasladarán los resultados a las tarifas 3.0 TD y 6.1 TD. Para ello se buscan los ratios que relacionan de forma directa el coste nivelado de la electricidad ($LCOE$) obtenido con Homer para el sistema base (0,189 €/kWh) con los precios del término de energía (TE) de la actual tarifa 2.0TD de la cooperativa de Vinalesa. Lo que se va a hacer es simplemente calcular el promedio del término de la energía de los tres periodos de la tarifa 2.0TD y obtener la relación con el $LCOE$ del caso base (ecuación 1). Por otro lado, se van a calcular las relaciones o ratios entre los precios del término de energía de cada periodo (TE_i) y el promedio de los tres periodos (ecuación 2).

$$r_{LCOE} = \frac{\frac{TE_1+TE_2+TE_3}{3}}{LCOE} \quad [1] \quad r_{periodo\ i} = \frac{TE_i}{\frac{TE_1+TE_2+TE_3}{3}} \quad [2]$$

Con estos 4 ratios, ya se puede hacer una primera aproximación de la nueva tarifa. El término de energía promedio de la nueva tarifa para la comunidad se obtendrá multiplicando el $LCOE$ del sistema híbrido obtenido en la fase 2 (0,155 €/kWh) por el ratio del $LCOE$ calculado con el caso base (r_{LCOE}). Por otro lado, para obtener los nuevos precios de cada periodo tarifario, simplemente habría que multiplicar este promedio por los ratios de cada periodo calculados con el caso base ($r_{periodo\ i}$). Los resultados de los cálculos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2 Cálculos de la nueva tarifa 2.0 TD de la Comunidad Energética de Vinalesa

	VINALESA CASO BASE	RATIOS CALCULADOS	VINALESA COMUNIDAD ENERGÉTICA
TE PERIODO 1 (10-14, 18-22 h)	0,226660 €/kWh	$r_{periodo\ 1} = 1,556485$	0,185885 €/kWh
TE PERIODO 2 (8-10, 14- 18, 22-24 h)	0,129453 €/kWh	$r_{periodo\ 2} = 0,888960$	0,106165 €/kWh
TE PERIODO 3 (0-8h, Fines de semana)	0,080756 €/kWh	$r_{periodo\ 3} = 0,554555$	0,066228 €/kWh
LCOE	0,189 €/kWh	$r_{LCOE} = 0,770492$	0,155 €/kWh
TE PROMEDIO	0,145623 €/kWh	→	0,11788529 €/kWh

El nuevo término de la energía calculado se correspondería con un promedio del coste de la electricidad autoconsumida (que viene a ser el de la amortización del sistema energético) y el de la red (incluyendo los peajes y cargos regulados).

Para comprobar que esta tarifa es viable se ha vuelto a simular en Homer un escenario con los mismos consumos y recursos naturales pero donde toda la energía se compra de la red al precio de la nueva tarifa diseñada. Se obtienen unos valores de coste actual neto (NPC) ligeramente superior al obtenido en la fase 2, lo cual quiere decir que todos los costes de la comunidad energética (amortización del sistema híbrido renovable + compras de la red) quedarían cubiertos y además se obtendría un margen de beneficio extra para la comercializadora que podría ascender a la cantidad de 8.596,3 € y ser utilizado para como colchón para cubrir posibles riesgos no previstos o reinvertido en alguna de las causas sociales de la propia comunidad.

Application to the case study

The objective is to design a renewable energy community in the village of Vinalesa, which currently has an indigenous electricity cooperative, responsible for the distribution and commercialisation of electricity to the inhabitants, businesses and industries of the village. However, all the electricity supplied is purchased from the general grid, so it seems very convenient to consider the implementation of local generation assets, taking advantage of the distribution infrastructure they own, the social structure and the cooperative marketing company to take the step and become an energy community that generates and consumes its own energy.

Phase 1: Selection of generation technology and preliminary sizing.

The natural resources available in Vinalesa are solar and wind, whose values for one year were taken from the NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) database. The

temperature of the area was also considered as it has a considerable influence on the quality of operation of the components and their deterioration throughout their useful life.

The electricity consumptions considered for the simulations were obtained from real measurements taken at 5 of the town's transformer stations over several months and included quarter-hourly consumptions of residential, commercial, and public entities. Subsequently, hourly demand curves were typified for working days, Saturdays and Sundays and public holidays as shown in Figure 2. In addition, to estimate the rest of the hourly demand throughout the year, monthly demand curves were synthesised, adding a typical seasonal variability plus a random variability of 10% between days of the month and between times of the day.

In the aggregate curve, the minimums of total energy consumed would be marked mainly by the consumption of the industrial company, as it needs to have the freezer chambers always connected, while the maximums would be marked by residential consumption, which is the largest and most decisive in the sample. The average hourly total demand over the year is in the order of 327.11 kWh and the maximum peak power is 766.13 kW.

The pricing of the energy purchased from the grid is going to be done considering the tariff that the Vinalesa supplier had. In the base case or current case of Vinalesa, all the energy will be purchased from the grid, while in the study scenarios only the percentage that cannot be covered by the company's own assets and batteries will be purchased.

The generation technologies considered are photovoltaic panels, wind turbines, the inverter and batteries of different technologies for comparison (Lead Acid, Lithium Ion and Vanadium redox flow). The chosen parameters and costs shown in the following tables are typical values for today and have been extracted from different studies of the International Renewable Energy Agency (IRENA, 2020) and (IRENA, 2017).

The economic parameters considered were 25 years of project lifetime, a 5.88% real discount rate and an additional fixed plant O&M cost of €20,000/year.

Phase 2: Final configuration and sizing of the power plant with commercial components.

In this phase we start from the results obtained in phase I, where wind energy and storage with lead-vanadium batteries have been discarded and PV, lithium-ion batteries and the grid have been chosen to configure the hybrid system. In addition, a preliminary sizing of these elements has been obtained to seek for commercial models that adapt to this range. Some of the commercial equipment considered and some of their main characteristics are shown in Table 5. In this second simulation, different models were taken and iterated until sufficiently good results were obtained.

Table 5 Commercial technologies considered for the energy community

TECHNOLOGY	Model	Main features	Investment cost	Life span
Photovoltaic	FV Model A-330p Ultra	330 W	500€/module	25 years
Battery modules	LGChem M48126P3B (2P)	126 Ah / 6,44kWh	5000 €	10 years
	EnerDel Secure plus	168 Ah / 101 kWh	45.000 €	10 years
	Tesla PowerPack 2	553 Ah / 210 kWh	150.000 €	10 years
Conversion system	Centralised Inverter Sinexcel 500 Kw	500 kW	76.500€	10 years

The input parameters related to natural resources, consumption and electricity tariff have been left the same as in phase 1, except for adding an additional fixed capital cost of €100,000 to the economic parameters to take into account all those additional installation elements such as the anti-spill system and to make the system more conservative.

Phase 3: Design of the new electricity tariff and analysis of economic viability.

For the design of the new tariff, only the energy term is taken into account and the power term is left the same as in the current tariffs of the cooperative, as it is a term that is practically regulated in its entirety.

Firstly, it is necessary to find relationships within the current Vinalesa tariffs in order to be able to use them in the design of the new tariff. We will start with the 2.0 TD tariff and then transfer the results to the 3.0 TD and 6.1 TD tariffs. To do this, the ratios that directly relate the levelised cost of electricity (LCOE) obtained with Homer for the base system (0.189 €/kWh) with the prices of the energy term (ET) of the current 2.0TD tariff of the Vinalesa cooperative are sought. What is going to be done is simply to calculate the average of the energy term of the three periods of the 2.0TD tariff

and obtain the relation with the LCOE of the base case (equation 1). On the other hand, the ratios between the prices of the energy term of each period (ET_i) and the average of the three periods will be calculated (equation 2).

With these 4 ratios, a first approximation of the new tariff can be made. The average energy term of the new tariff for the community will be obtained by multiplying the LCOE of the hybrid system obtained in phase 2 (0.155 €/kWh) by the ratio of the LCOE calculated with the base case (r_{LCOE}). On the other hand, to obtain the new prices for each tariff period, simply multiply this average by the ratios for each period calculated with the base case ($r_{period i}$). The results of the calculations are shown in the table below:

Table 6 Calculations of the new 2.0 TD tariff of the Vinalesa Energy Community

	BASE CASE VINALESA	RATIOS	VINALESA ENERGY COMMUNITY
ET PERIOD 1 (10-14, 18-22 h)	0,226660 €/kWh	$r_{periodo 1} = 1,556485$	0,185885 €/kWh
ET PERIOD 2 (8-10, 14- 18, 22-24 h)	0,129453 €/kWh	$r_{periodo 2} = 0,888960$	0,106165 €/kWh
ET PERIOD 3 (0-8h, Weekend)	0,080756 €/kWh	$r_{periodo 3} = 0,554555$	0,066228 €/kWh
LCOE	0,189 €/kWh	$r_{LCOE} = 0,770492$	0,155 €/kWh
AVERAGE ET	0,145623 €/kWh	→	0,11788529 €/kWh

The new energy term calculated would correspond to an average of the cost of self-consumed electricity (which is the depreciation of the energy system) and that of the grid (including tolls and regulated charges).

To check that this tariff is viable, a scenario has been simulated again in Homer with the same consumption and natural resources but where all the energy is purchased from the grid at the price of the new tariff designed. The net present cost (NPC) values obtained are slightly higher than those obtained in phase 2, which means that all the costs of the energy community (amortisation of the hybrid renewable system + purchases from the grid) would be covered and in addition an extra profit margin would be obtained for the supplier which could amount to 8,596.3 € and be used as a buffer to cover possible unforeseen risks or reinvested in one of the social causes of the community itself.

Resultados

• **Fase 1:** la tabla 7 muestran los resultados que se obtuvieron tras la simulación, donde se observa que el escenario energético con un menor coste actual neto (NPC) es aquel compuesto de paneles fotovoltaicos (PV), baterías de litio (1kWh LI) y la red (2.0 TD). Con este sistema híbrido de 977 kW de potencia y una capacidad de almacenamiento de 633kWh, se obtiene un coste de la energía nivelado (COE) de 0,149€/kWh, 4 céntimos inferior al caso base (0,189€/kWh), lo cual es no es nada despreciable ya que supone una reducción del coste de la electricidad del 21%. La fracción de consumo útil que se cubre con energías renovables es del 39,1%.

Table 3 Resultados de los escenarios óptimos de la simulación 1 en la Fase I

Table 7 Results of the optimal scenarios of simulation 1 in Phase I

Winner system							Architecture				Cost			System
PV (kW)	WT10	WT100	1kWh LA	VRFB100	1kWh LI	2.0 TD	Converter (kW)	NPC (€)	COE (€)	Operating cost (€/yr)	Initial capital (€)	Ren Frac (%)		
977					633	1	486	5,51 €M	0,149 €	323.579 €	1,32 €M	39,1		
989	1				674	1	510	5,55 €M	0,150 €	320.850 €	1,40 €M	39,8		
914						1	492	5,60 €M	0,151 €	356.453 €	991.214 €	34,3		
943				1		1	483	5,61 €M	0,151 €	348.783 €	1,10 €M	35,3		
877			15			1	487	5,61 €M	0,152 €	359.660 €	963.086 €	33,8		
818	2	1	63			1	515	5,96 €M	0,161 €	358.828 €	1,33 €M	35,5		
						1		6,99 €M	0,189 €	540.896 €	0,00 €	0		

Si bien hace unos pocos años podría parecer impensable que la adición de baterías a un sistema híbrido de fotovoltaica con la red pudiera resultar rentable, esta simulación deja patente las abruptas bajadas que llevan sucediéndose año tras año en el precio de las placas fotovoltaicas y las baterías (del orden de más del 85% en los últimos 10 años), las cuales están haciendo que esta combinación de tecnologías sea cada vez más interesante, en especial, para la generación distribuida

de mediana escala y el autoconsumo compartido. La energía eólica (WT10 y WT100) así como las baterías de plomo (1kWh LA) y vanadio (VRFB100) quedan fuera de las opciones más rentables.

Además resulta interesante observar los resultados de la tabla 8. Como se puede observar, el TIR es un valor bastante aceptable teniendo en cuenta que con la inversión lo que se pretende generar son ahorros, más que ganancias. Por otro lado, una amortización del sistema incluyendo el descuento en 7,37 años se considera bastante razonable, por lo que se puede afirmar que plantear la comunidad energética de esta manera es viable económicamente.

Tabla 4 Resultados relevantes de parámetros del sistema ganador en la fase 1

Exceso de energía	7,64%
Autonomía baterías	1,55 h
Tasa interna de retorno (TIR)	16,30 %
Periodo de recuperación descontado	7,37 años
Ahorro anual en la compra de electricidad de la red	237.911€
Ahorro total en la compra de electricidad de la red	5,95 M€

• **Fase 2:** al introducir los parámetros de los modelos comerciales en Homer Grid se obtuvieron los resultados de la tabla 9. Como vemos, el coste nivelado de la energía (COE) en el escenario óptimo es de 0,155 €/kWh, lo cual no se aleja mucho de la primera simulación generalizada donde era de 0,149 €/kWh sin considerar el porcentaje de costes fijos adicional, por lo que a primera vista parece un sistema aceptable. El modelo de batería que mejor se adapta a nuestro caso es el LGChem. El software nos recomienda instalar 168 módulos de esta batería, lo que equivaldría a una capacidad de almacenamiento de 1.08 MWh. Este sistema híbrido tiene una mayor capacidad de almacenamiento y una menor capacidad fotovoltaica que el de la fase 1, sin embargo la fracción de consumo útil cubierto renovables es mayor (42,2% frente al 39,1%), por lo que es más eficiente.

Tabla 5 Resultados de los escenarios óptimos de la simulación en la fase 2

Table 9 Results of the optimal scenarios of the simulation in phase 2

Winner system		Architecture				Cost				System
330P Atersa	LGChem6.4	EDel151	TeslaPP2	2.0 TD Vinalesa	Sinexcel 500 (kW)	NPC (€)	COE (€)	Operating cost (€/yr)	Initial capital (€)	Ren Frac (%)
870	168			1	472	5,74 €M	0,155 €	301.973 €	1,83 €M	42,2
735				1	466	5,94 €M	0,160 €	368.325 €	1,18 €M	32,9
742		1		1	464	5,95 €M	0,161 €	364.699 €	1,23 €M	33,8
751			1	1	468	5,97 €M	0,161 €	357.456 €	1,35 €M	34,6
		Base Case		1		6,99 €M	0,189 €	540.89€	0,00 €	0

En cuanto a los parámetros económicos del TIR y el periodo de recuperación reflejados en la tabla 10, se puede ver que el sistema se ha encarecido ligeramente con respecto a la fase 1 (principalmente por el coste fijo de capital considerado y el aumento de la capacidad de baterías), sin embargo, este sistema aprovecha mejor la autoproducción al tener más autonomía y menos excesos. Por ello, el ahorro anual en las compras de la red es un 13,46% mayor en esta segunda simulación frente a la de la fase 1.

Tabla 6 Resultados relevantes de parámetros del sistema ganador en la fase 2

Exceso de energía	3,19%
Autonomía baterías	3 h
Tasa interna de retorno (TIR)	13,40 %
Periodo de recuperación descontado	8,83 años
Ahorro anual en la compra de electricidad de la red	269.946.78 €
Ahorro total en la compra de electricidad de la red	6,74 M€

• **Fase 3:** la nueva tarifa diseñada basada en el precio nivelado de la energía del sistema que configura la comunidad energética tiene un término de energía un 18% más barato que el de la antigua tarifa 2.0 TD. El mismo porcentaje de reducción se va a aplicar a los otros contratos 3.0 TD y 6.0 TD, de forma que la tabla de precios quedaría de la siguiente manera:

Tabla 7 Comparación de la nueva tarifa de la Comunidad Energética de Vinalosa con la tarifa actual
Table 11 Comparison of the new tariff of the Vinalosa Energy Community and the current tariff

			Antigua Tarifa <i>Old Tariff</i>	Nueva Tarifa CE <i>New EC Tariff</i>
		TÉRMINO POTENCIA <i>DEMAND CHARGE</i>	TÉRMINO ENERGIA <i>CONSUMPTION RATE</i>	TÉRMINO ENERGIA <i>CONSUMPTION RATE</i>
2.0 TD	PERIOD 1	0,089514 €/kW day	0,226660 €/KWh	0,185885 €/kWh
	PERIOD 2	0,020341 €/KW day	0,129453 €/KWh	0,106165 €/kWh
	PERIOD 3	----	0,080756 €/KWh	0,066228 €/kWh
3.0 TD	PERIOD 1	0,061781 €/KW day	0,175590 €/KWh	0,144002 €/KWh
	PERIOD 2	0,044828 €/KW day	0,149824 €/KWh	0,122871 €/KWh
	PERIOD 3	0,022043 €/KW day	0,120355 €/KWh	0,098703 €/KWh
	PERIOD 4	0,018897 €/KW day	0,104521 €/KWh	0,08571 €/KWh
	PERIOD 5	0,012923 €/KW day	0,088205 €/KWh	0,072337 €/KWh
	PERIOD 6	0,008095 €/KW day	0,079431 €/KWh	0,065141 €/KWh
6.1 TD	PERIOD 1	0,090952 €/KW day	0,133862 €/KWh	0,109781 €/KWh
	PERIOD 2	0,078236 €/KW day	0,115644 €/KWh	0,094840 €/KWh
	PERIOD 3	0,044805 €/KW day	0,097066 €/KWh	0,079604 €/KWh
	PERIOD 4	0,036127 €/KW day	0,086470 €/KWh	0,070915 €/KWh
	PERIOD 5	0,010983 €/KW day	0,072677 €/KWh	0,059603 €/KWh
	PERIOD 6	0,005970 €/KW day	0,065821 €/KWh	0,053980 €/KWh

Considerando el consumo anual de la cooperativa, las nuevas tarifas reportarían a los socios un ahorro anual de 89.312€, que estaría repartido de forma equitativa entre las facturas de todos sus miembros, o lo que es lo mismo el ahorro en su factura eléctrica sería del 16,4%.

Results

• **Phase 1:** Table 7 shows the results obtained after the simulation, where the energy scenario with the lowest net present cost (NPC) is the one composed of photovoltaic panels (PV), lithium batteries (1kWh LI) and the grid (2.0 TD). With this hybrid system of 977 kW of power and a storage capacity of 633kWh, a levelised cost of energy (COE) of 0.149€/kWh is obtained, 4 cents lower than the base case (0.189€/kWh), which is not negligible as it represents a reduction in the cost of electricity of 21%. The fraction of useful consumption that is covered by renewable energies is 39.1%.

Although a few years ago it might have seemed unthinkable that the addition of batteries to a hybrid PV/grid system could be profitable, this simulation shows the steep year-on-year falls in the price of PV panels and batteries (of the order of more than 85% in the last 10 years), which are making this combination of technologies increasingly interesting, especially for medium-scale distributed generation and shared self-consumption. Wind power (WT10 and WT100) as well as lead-acid (1kWh LA) and vanadium (VRFB100) batteries are left out of the most cost-effective options.

It is also interesting to look at the results in table 8. As can be seen, the IRR is a quite acceptable value considering that the investment is intended to generate savings rather than profits. On the other hand, an amortisation of the system including discounting in 7.37 years is considered quite reasonable, so it can be stated that the community energy approach is economically viable.

Table 8 Relevant results of winning system parameters in phase 1

Excess energy	7,64%
Battery autonomy	1,55 h
Internal rate of return (IRR)	16,30 %
Discounted payback period	7,37 years
Annual savings in the purchase of electricity from the grid	237.911€
Total savings in the purchase of electricity from the grid	5,95 M€

• **Phase 2:** Entering the parameters of the commercial models into Homer Grid yielded the results in Table 9. As we can see, the levelized cost of energy (COE) in the optimal scenario is 0.155 €/kWh, which is not very far from the first generalised simulation where it was 0.149 €/kWh without considering the percentage of additional fixed costs, so at first sight it seems to be an acceptable system. The battery model that best suits our case is the LGChem. The software recommends installing 168 modules of this battery, which would be equivalent to a storage capacity of 1.08 MWh. This hybrid system has a higher storage capacity and a lower photovoltaic capacity than the one in phase 1, however the fraction of useful consumption covered by renewables is higher (42.2% compared to 39.1%), making it more efficient.

Regarding the economic parameters of the IRR and the payback period reflected in table 10, it can be seen that the system has become slightly more expensive compared to phase 1 (mainly due to the fixed capital cost considered and the increase in battery capacity), however, this system makes better use of self-production as it has more autonomy and fewer excesses. Therefore, the annual savings in grid purchases are 13.46% higher in this second simulation compared to phase 1.

Table 10 Relevant results of winning system parameters in phase 1

Excess energy	3,19%
Battery autonomy	3 h
Internal rate of return (IRR)	13,40 %
Discounted payback period	8,83 years
Annual savings in the purchase of electricity from the grid	269.946.78 €
Total savings in the purchase of electricity from the grid	6,74 M€

• **Phase 3:** the new tariff designed based on the levelized energy price of the system that configures the energy community has an energy term 18% cheaper than that of the old 2.0 TD tariff. The same percentage reduction will be applied to the other 3.0 TD and 6.0 TD contracts, so that the price table will be as it showed in Table 11.

Considering the cooperative's annual consumption, the new tariffs would provide members with an annual saving of 89,312€, which would be distributed equally among all members' bills, or in other words, the saving on their electricity bill would be 16.4%.

Conclusiones

La metodología propuesta es una herramienta útil para diseñar comunidades energéticas que permanezcan conectadas a la red, compartan activos de generación con energía renovable y hagan un reparto equitativo de los beneficios energéticos y económicos que pueden obtenerse. Permite seleccionar y dimensionar los activos de generación renovables de forma precisa y óptima así como conocer la viabilidad económica y tecnológica del sistema híbrido que quiera ponerse en la comunidad. Además ofrece un método de cálculo sencillo para diseñar nuevas tarifas eléctricas para los miembros de la comunidad en base al coste nivelado de la energía obtenido con el sistema híbrido.

Gracias a esta metodología se ha podido comprobar que con la instalación de 870 kW de energía fotovoltaica y una capacidad de 1.08 MWh en baterías de Ion Litio, los vecinos del municipio de Vinalesa podrían tener ahorros adicionales del orden del 16,4% en su factura de la luz considerando una amortización de la planta energética de 8,83 años.

Conclusions

The proposed methodology is a useful tool for designing energy communities that remain connected to the grid, share generation assets with renewable energy and make an equitable distribution of the energy and economic benefits that can be obtained. It allows the selection and sizing of renewable generation assets in a precise and optimal way, as well as the economic and technological feasibility of the hybrid system to be installed in the community. It also offers a simple calculation method to calculate new electricity tariffs for the members of the community based on the levelized cost of energy obtained with the hybrid system.

Thanks to this methodology it has been possible to verify that with the installation of 870 kW of photovoltaic energy and a capacity of 1.08 MWh in Lithium-Ion batteries, the residents of the municipality of Vinalesa could have additional savings of around 16.4% on their electricity bill considering a depreciation of the power plant of 8.83 years.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Capellán-Pérez, I., Campos-Celador A., Terés-Zubiaga J. (2018) “Renewable Energy Cooperatives as an instrument towards the Energy Transition in Spain”. *Energy Policy*, 123, 215–229. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.064>.
- Caramizaru, E. and Uihlein, A. (2020), “Energy communities: an overview of energy and social innovation”, *EUR 30083 EN, Publications Office of the European Union*, Luxembourg. ISBN 978-92-76-10713-2 (online), doi:10.2760/180576 (online), JRC119433.
- IDAE (2019), “Guía de desarrollo de instrumentos de fomento de comunidades energéticas locales”. IDAE website. Disponible en: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-para-el-desarrollo-de-instrumentos-de-fomento-de-comunidades-energeticas-locales>
- Friends of the Earth Europe et al. (2021). “COMUNIDADES ENERGÉTICAS: Una guía práctica para impulsar la energía comunitaria”. Disponible en: <https://www.tierra.org/comunidades-energeticas/>
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, "Directiva (UE) 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables", Diario Oficial de la Unión Europea, 11 Diciembre, 2018.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, “Directiva (UE) 2019/944 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE”, Diario Oficial de la Unión Europea 5 de junio de 2019.
- Jefatura del Estado, “Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica”, Boletín Oficial del Estado, 24 de Junio de 2020.
- IRENA (2017), “Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030”, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf
- IRENA (2020). “Renewable Power Generation Costs in 2019”, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Pág 62-67. Disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf
- EnerCoop Grupo (2019), “Conoce el proyecto Comptem del grupo Enercoop para las Comunidades Energéticas”. Disponible en: <https://www.enercoop.es/conocecomptem/>
- Sapiens Energía (2020). *Web de Sapiens Energía*. Disponible en: <https://sapiensenergia.es/>

EL PLAN DE RECUPERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y RESILIENCIA Y SU INFLUENCIA EN LA EDIFICACIÓN

THE RECOVERY, TRANSFORMATION AND RESILIENCE PLAN AND ITS INFLUENCE ON BUILDINGS

M^a Emilia Casar Furió

Departamento Urbanismo / PEGASO/ UPV/ macafu@urb.upv.es

Prof. Titular de Universidad

Doctora en Derecho Administrativo y Urbanismo. Imparte docencia en la ETSAV y en la ETSIE, asimismo participa en diversos cursos de postgrado y máster, y ha presentado numerosas ponencias en congresos especializados, tanto nacionales como internacionales, con extenso repertorio de publicaciones.

Ha participado como colaborador en varios Proyectos de Investigación Europeos, Nacionales y de la Generalitat Valenciana.

Dirección de numerosos trabajos finales de carrera, grado y máster en diversas Titulaciones, trabajos de Investigación (DEA), y varias Tesis Doctorales, formando parte de Tribunales en todo ello.

PhD.in Law, Professor, Department of Urbanism, PEGASO, Universitat Politècnica de València, Spain,

E-mail: macafu@urb.upv.es

Abstract

In the implementation of the Spanish Urban Agency, in compliance with the Sustainable Development Goals (SDGs), we find the Spanish Recovery, Transformation and Resilience Plan under the framework of Royal Decree 853/2021, of 5 October. That is, at the present time, after the health crisis we have been experiencing in recent years, the Recovery, Transformation and Resilience Plan for Spain is configured as a fundamental instrument for the development of the Next Generation EU recovery funds. The Next Generation EU recovery funds are a milestone in these times as a mechanism to propel the economy, framed under four important axes, ten lever policies and thirty components. The second of the components is the one that deals with rehabilitation, fundamental in the reactivation of the construction and real estate sector, attending to the European and national responsibilities contracted with respect to energy, climate and digitalisation, with great possibilities derived from the experience and maintenance of the building stock and its potential contribution to employment.

Through this study it will be possible to observe the reforms, the investments foreseen within the programmes that are collected as a result of the aids that are generated according to the resources that are foreseen from Europe, of territorial application from a larger to a smaller scale within the Member States, under the framework of sustainable development applied to urban regeneration and rehabilitation in specific relation to the energy efficiency of buildings under the positive influence of climate change and the new perception of the environment.

Keywords

Recovery; transformation; resilience; regeneration; rehabilitation; energy efficiency; sustainability; programmes; resources

Introducción

La Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015 aprobó los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entre los cuales se encuentra el objetivo 11 que hace referencia a ciudades y áreas urbanas: “conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”. Sin embargo, el denominador común de las ciudades es la congestión, la falta de fondos para prestar servicios básicos, la escasez de vivienda adecuada y el deterioro de la infraestructura. Ahora bien, las ciudades pueden aspirar a seguir prosperando y creciendo, y al mismo tiempo aprovechar mejor los recursos y reducir la contaminación y la pobreza. Por su parte, la Agenda Urbana Española (AUE), como documento estratégico, conforme a los criterios establecidos por la Agenda 2030, la nueva Agenda Urbana de las Naciones Unidas y la Agenda Urbana para la Unión Europea, en su objetivo 3, persigue el logro de la sostenibilidad en las políticas de desarrollo urbano, y más concretamente la prevención y reducción de los impactos del cambio climático y mejora de la resiliencia.



Imags. nº 1 y 2. Ministerio de Fomento y Plan de Acción del Gobierno de España para la Agenda 2030

En respuesta específica, encontramos el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de España bajo el marco del Real Decreto 853/2021, de 5 de octubre. Esto es, en el momento actual, tras la situación de crisis sanitaria que estamos viviendo en los últimos años, el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de España, se configura como un instrumento fundamental para el desarrollo de los fondos europeos de recuperación Next Generation EU.

Incentivo europeo en la economía a gran escala y a pequeña escala en cuanto a los Estados Miembros

Los fondos europeos de recuperación Next Generation EU, constituyen en estos tiempos un hito como mecanismo de propulsión de la economía, encuadrado bajo cuatro importantes ejes, diez políticas palanca y treinta componentes. El segundo de los componentes es el que atiende al impulso de la implementación de la Agenda Urbana Española, en particular a la rehabilitación, la cual resulta crucial en la reacción del sector de la construcción e inmobiliario, atendiendo a las responsabilidades europeas y nacionales contraídas respecto a la energía, clima y digitalización, con grandes posibilidades derivadas de la experiencia y

mantenimiento del parque edificatorio y su potencial de contribución en el empleo.

Introduction

The United Nations General Assembly in 2015 adopted the 17 Sustainable Development Goals (SDGs), including Goal 11 which refers to cities and urban areas: "make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable". However, the common denominator of cities is congestion, lack of funds to provide basic services, shortage of adequate housing and deteriorating infrastructure. However, cities can aspire to continue to thrive and grow, while making better use of resources and reducing pollution and poverty. For its part, the Spanish Urban Agenda (AUE), as a strategic document, in accordance with the criteria established by the 2030 Agenda, the New Urban Agenda of the United Nations and the Urban Agenda for the European Union, in its objective 3, pursues the achievement of sustainability in urban development policies, and more specifically the prevention and reduction of the impacts of climate change and the improvement of resilience.



Fig. nº 1 y 2. Ministry of Development and the Spanish Government's Action Plan for the 2030 Agenda

In specific response, we find the Spanish Recovery, Transformation and Resilience Plan under the framework of Royal Decree 853/2021 of 5 October. That is, at the present time, after the health crisis we have been experiencing in recent years, the Spanish Recovery, Transformation and Resilience Plan is configured as a fundamental instrument for the development of the European Next Generation EU recovery funds.

European incentive in the large-scale and small-scale economy at Member State level

The European Next Generation EU recovery funds are currently a milestone as a mechanism for boosting the economy, framed under four important axes, ten lever policies and thirty components. The second of the components is the one that addresses the promotion of the implementation of the Spanish Urban Agenda, in particular rehabilitation, which is crucial in the reaction of the construction and real estate sector, taking into account European and national responsibilities regarding energy, climate and digitisation, with great possibilities derived from the experience and maintenance of the building stock and its potential contribution to employment.

En suma, se atiende a la Agenda Urbana Española, bajo las bases cruciales de eficiencia energética, accesibilidad a la vivienda, descarbonización e integración de renovables, ciclo de vida, elevados niveles ambientales y de salud. Del mismo modo, lucha contra la pobreza energética, traducida en los programas de ayudas a la rehabilitación y construcción de vivienda social. La renovación y mejora de viviendas y entornos residenciales, en base a la reducción de consumo de energía y de emisiones. Así como, descarbonización de la calefacción y la refrigeración mediante la reducción de su solicitud y mejora del rendimiento energético con sustitución por energías renovables. Se apunta a la mejora de la eficiencia energética de todos los edificios sin discriminación.

Para la ejecución efectiva de lo pretendido, el referido componente 2 recoge un conjunto de reformas e inversiones en pro de la rehabilitación edificatoria residencial, con medidas de regulación y financiación para propiciar el entorno, e impulso de la vivienda en alquiler social. “A través del Componente 2 se programan una serie de reformas e inversiones que ofrecen un marco de apoyo a diferentes escalas, desde el ámbito territorial hasta la intervención a nivel de edificio y de vivienda, aplicado en diferentes entornos, ya que abarca tanto la actuación en las grandes áreas metropolitanas como en los ámbitos rurales, así como la vivienda en alquiler social” (1).

El Componente 2 tiene, en consonancia con la *Renovation Wave*, base Europea de Derechos Sociales y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, un doble cometido consistente en activar en España un sector de la rehabilitación que permita descarbonizar y mejorar la calidad y confort del parque edificatorio, y, al mismo tiempo, avivar la construcción de un parque de vivienda de alquiler social hoy deficiente pudiendo responder a las insuficiencias de vivienda digna y siendo factible para aquello que más la necesitan resultando la sociedad más resiliente y así con garantía de recuperación más equitativa e inclusiva. En la esfera de la rehabilitación, el reto es conseguir un aumento progresivo de transformación del parque edificado con modelos que, por su viabilidad técnica y financiera, resulten realmente sostenibles. En pro de las pretensiones del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, en el marco de la Estrategia para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España (ERESEE). El Real Decreto 853/2021, de 5 de octubre, constituye el marco normativo del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de España.

Con mayor exactitud, bajo el marco de este Real Decreto se establecen, en pro de la rehabilitación, una serie de programas de ayudas articulados en dos de las inversiones del componente 2, esto es la inversión C02.I01 bajo la denominación “programa de rehabilitación para la recuperación económica y social en entornos residenciales”, y que se corresponde con una serie de programas, que en la base del Real Decreto son numerados del 1 al 5; en segundo lugar, en la inversión C02.I02, bajo la denominación “programa de

construcción de viviendas en alquiler social en edificios energéticamente eficientes”, se recoge, a su vez, el programa numerado como 6.

In short, the Spanish Urban Agenda is addressed, under the crucial bases of energy efficiency, housing accessibility, decarbonisation and integration of renewables, life cycle, high environmental and health standards. Likewise, the fight against energy poverty, translated into aid programmes for the rehabilitation and construction of social housing. The renovation and improvement of housing and residential environments, based on the reduction of energy consumption and emissions. As well as decarbonisation of heating and cooling by reducing their demand and improving energy efficiency by replacing them with renewable energies. The aim is to improve the energy efficiency of all buildings without discrimination.

For the effective execution of what is intended, the referred component 2 includes a set of reforms and investments in favour of residential building rehabilitation, with regulation and financing measures to favour the environment, and the promotion of social rental housing. "Through Component 2, a series of reforms and investments are programmed that offer a framework of support at different scales, from the territorial level to intervention at building and housing level, applied in different environments, as it covers both action in large metropolitan areas and in rural areas, as well as social rental housing" (1).

Component 2 has, in line with the *Renovation Wave*, the European Social Rights Base and the Sustainable Development Goals of the United Nations, a double task consisting of activating in Spain a rehabilitation sector that allows decarbonising and improving the quality and comfort of the building stock, and, at the same time, reviving the construction of a social rental housing stock that is currently deficient and can respond to the insufficiencies of decent housing and be feasible for those who need it most, resulting in a more resilient society and thus with a guarantee of a more equitable and inclusive recovery. In the field of rehabilitation, the challenge is to achieve a progressive increase in the transformation of the building stock with models that, due to their technical and financial viability, are truly sustainable. This is in line with the aims of the National Integrated Energy and Climate Plan, within the framework of the Strategy for Energy Rehabilitation in the Building Sector in Spain. Royal Decree 853/2021 of 5 October constitutes the regulatory framework of the Spanish Recovery, Transformation and Resilience Plan.

More precisely, under the framework of this Royal Decree, a series of aid programmes are established in favour of rehabilitation, articulated in two of the investments of component 2, i.e. investment C02.I01 under the denomination "rehabilitation programme for economic and social recovery in residential environments", which corresponds to a series of programmes numbered from 1 to 5 in the Royal Decree; secondly, investment C02.I02, under the denomination "programme for the construction of social rental housing in energy-efficient buildings", includes the programme numbered 6.

Los programas que constituyen, respectivamente, dentro de las ayudas de las inversiones del componente 2, esto es la inversión C02.I01 bajo la denominación “programa de rehabilitación para la recuperación económica y social en entornos residenciales”, son: “1. Programa de ayuda a las actuaciones de rehabilitación a nivel de barrio; 2. Programa de apoyo a las oficinas de rehabilitación; 3. Programa de ayuda a las actuaciones de rehabilitación a nivel de edificio; 4. Programa de ayuda a las actuaciones de mejora de la eficiencia energética en viviendas; 5. Programa de ayuda a la elaboración del libro del edificio existente para la rehabilitación y la redacción de proyectos de rehabilitación”. Por otro lado, en el caso de la inversión C02.I02, bajo la denominación “programa de construcción de viviendas en alquiler social en edificios energéticamente eficientes”, se encuentra “6. Programa de ayuda a la construcción de viviendas en alquiler social en edificios energéticamente eficientes”.

Los perceptores de fondos de la Unión expresamente dejarán constancia del origen de la financiación, contribuyendo y/o dándole visibilidad, incluido, cuando proceda, mediante el emblema de la Unión y una declaración de financiación adecuada que indique “financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU”. La inversión total estimada desde el componente 2, Plan de rehabilitación de vivienda y regeneración urbana, está cifrada en 6.820 millones de euros (2).

Los Fondos Next Generation EU

Viene considerándose como Fondos Next Generation EU, tras la crisis sanitaria, como el instrumento temporal de recuperación dotado con más de 700 mil millones de euros que contribuirá a reparar los daños económicos y sociales inmediatos causados (Consejo Europeo el 21 de julio de 2020). El Mecanismo para la Recuperación y la Resiliencia (MRR) constituye el núcleo del Fondo de Recuperación, atendiendo a la equidistribución de manera que se asegure un apoyo financiero mayor a los Estados miembros con mayores necesidades económicas y sociales como consecuencia de la crisis en la que nos encontramos todavía inmersos. La Comisión Europea ha destacado 7 esferas representativas, entre ellas la renovación o mejora de la eficiencia energética de los edificios. En principio el horizonte temporal será desde los presupuestos 2021-23, canalizándose en lo sucesivo a través de los Presupuestos Generales del Estado durante los años de ejecución del Plan de Recuperación. “Las CCAA participarán activamente en la gestión de los fondos del MRR por diversas vías. Los Presupuestos Generales del Estado de cada año reflejarán en las partidas presupuestarias de los ministerios las dotaciones financieras del MRR en las que se detallarán los programas, convocatorias, programas marco, convenios, etc. dependiendo de los diferentes sectores. En las áreas de competencias de las CC AA éstas firmarán convenios con los ministerios implicados para la gestión y ejecución de los fondos del MRR, que deberán atender a los hitos y objetivos establecidos en el Plan de Recuperación (3). Las entidades locales tendrán

también una participación activa tanto en la propuesta como en el desarrollo de los proyectos” (4).

The programmes that constitute, respectively, within the component 2 investment aid, i.e. investment C02.I01 under the denomination "rehabilitation programme for the economic and social recovery in residential environments", are: "1. Programme of support for rehabilitation offices; 3. Programme of support for rehabilitation actions at building level; 4. Programme of support for actions to improve energy efficiency in housing; 5. Programme of support for the preparation of the existing building book for rehabilitation and the drafting of rehabilitation projects". On the other hand, in the case of investment C02.I02, under the heading "programme for the construction of social rental housing in energy-efficient buildings", there is "6. Programme of aid for the construction of social rental housing in energy-efficient buildings".

Recipients of Union funds shall explicitly record the origin of the funding by contributing and/or giving visibility to it, including, where appropriate, by means of the Union emblem and an appropriate funding statement indicating 'financed by the European Union - NextGenerationEU'. The total estimated investment from component 2, Housing Rehabilitation and Urban Regeneration Plan, is estimated at EUR 6.82 billion (2).

Next Generation EU Funds

The Next Generation EU Fund, following the health crisis, has been seen as the temporary recovery instrument endowed with over EUR 700 billion to help repair the immediate economic and social damage caused (agreed by the European Council on 21 July 2020). The Recovery and Resilience Mechanism (RRM) is at the core of the Recovery Fund, addressing equidistribution in a way that ensures greater financial support to Member States with greater economic and social needs as a consequence of the crisis we are still in the midst of.

The European Commission has highlighted 7 representative areas, including the renovation or improvement of the energy efficiency of buildings. In principle, the time horizon will be from the 2021-23 budgets, being channelled thereafter through the General State Budgets during the years of execution of the Recovery Plan. "The Autonomous Communities will actively participate in the management of the RRM funds in various ways. Each year's General State Budget will reflect the financial allocations of the RRM in the ministries' budgets, detailing the programmes, calls for proposals, framework programmes, agreements, etc., depending on the different sectors. In the areas of competence of the Autonomous Communities, they will sign agreements with the ministries involved for the management and execution of the funds of the RRM, which must meet the milestones and objectives established in the Recovery Plan (3). Local authorities will also play an active role in both the proposal and the development of projects" (4).

Reformas que se proponen en relación al componente 2.

Recapitulando son 6, y estas son relativas a: la implementación de la Agenda Urbana Española (AUE), R1; la implementación de la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España (ERESEE) y su plan de acción, R2; la Ley de Vivienda que constituye la respuesta por parte del Estado de la obligación que, en el marco de sus competencias constitucionales, le incumbe en la protección del derecho a acceder a una vivienda digna y adecuada ya a su disfrute y contribuye al principio clave de asequibilidad de la vivienda eficiente incluido en el *Renovation Wave*, R3; la Ley de calidad de la Arquitectura y del entorno construido y Estrategia Nacional de Arquitectura, R4; Oficinas de Rehabilitación (“ventanilla única”) a través del establecimiento de un marco normativo para facilitar la gestión de las ayudas, financiación y fiscalidad, acompañando a lo largo de todo el proceso de la rehabilitación, R5; y, finalmente, la mejora de la financiación de las actuaciones de rehabilitación con objeto de mejorar la financiación de las intervenciones de rehabilitación, especialmente en comunidades de vecinos, como R6.

Inversiones en relación a las líneas de actuación que se proponen para el componente 2 (5)

Partiendo de la existencia de 3 líneas de actuación, se distinguen varios programas y en consecuencia inversiones:

Línea de actuación 1^a: Programa de actuaciones de rehabilitación a nivel de barrio. Programas de rehabilitación para la recuperación económica y social en entornos residenciales que consistirá en operaciones de rehabilitación, regeneración y renovación urbana en barrios o zonas según renta con influencia en colectivos desfavorecidos, dentro de la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética, correspondiente a la I1. En la Línea de actuación 2^a: Programa de rehabilitación integral de edificios. Programa de construcción de viviendas en alquiler social en edificios energéticamente eficientes con fomento de alquiler a precio accesible, contando con la colaboración del sector privado, correspondiente a la I2; además, el programa de rehabilitación energética de edificios (PREE) promueve la rehabilitación energética de edificios existentes de viviendas y otros usos, mediante actuaciones de ahorro y eficiencia energética e incorporación de energías renovables, I3; y, de regeneración y reto demográfico, encaminado a proyectos públicos y privados en municipios y núcleos de menos de 5.000 habitantes, I4

Por último, en una línea de actuación 3^a: creación de un entorno favorable a la actividad, las inversiones 5 y 6, relativas, respectivamente, a programa de impulso a la rehabilitación de edificios públicos (PIREP); y, programa de ayudas para la elaboración de proyectos piloto de planes de acción local.

Conclusiones: la elaboración de los planes de acción local inician un camino importante en relación a mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental, social y económica. Se favorecerá al fomento previsible de la resiliencia de los edificios e infraestructuras.

Proposed reforms under component 2

Are 6, and these relate to: the implementation of the Spanish Urban Agenda (AUE), R1; the implementation of the Long-term Strategy for Energy Rehabilitation in the Building Sector in Spain , R2; the Housing Law which constitutes the State's response to its obligation, in relation with in the Renovation Wave, R3; the Law on the Quality of Architecture and the Built Environment and the National Strategy for Architecture, R4; Rehabilitation Offices ("one-stop-shop"), R5; finally, the improvement of the financing of rehabilitation actions in order to improve the financing of rehabilitation interventions, especially in communities of neighbours, as R6.

Investments in relation to the lines of action proposed for component 2 (5)

There are three lines of action with several programmes and several investments, from the neighbourhood rehabilitation programme, the integral rehabilitation of buildings, and the creation of a favourable environment for activity.

Conclusions

Generally speaking, and only on a small scale, the development of local action plans is an important step towards reducing climate change, as well as the identification of specific projects to improve energy efficiency and environmental, social and economic sustainability. The foreseeable promotion of the resilience of buildings and infrastructures will be promoted, since the climate change factor and its effects will be taken into account from the outset, with a positive influence on sustainable development.

Referencias/References

1. <https://objetivotransformacion.camara.es/sites/default/files/documentation/05052021-Componente2.pdf>, (7.12.21)

2. <https://planderecuperacion.gob.es/politicas-y-componentes/componente-2-plan-de-rehabilitacion-de-vivienda-y-regeneracion-urbana#inversiones>, (7.12.21).

3. https://nexteugeneration.com/wp-content/uploads/2021/02/07102020_PreguntasRespuestasPR-1.pdf, (10.12.21)

4. <https://presidencia.gva.es/es/web/estrategia-valenciana-para-la-recuperacion/comunitat-valenciana>, (10.12.21), en relación al caso de la Comunitat Valenciana, ayudas traducidas en las CONVOCATORIAS DE SUBVENCIONES GVA-NEXT GENERATION (fecha última actualización 19/11/21) (format xlsx)

5. <https://planderecuperacion.gob.es/politicas-y-componentes/componente-2-plan-de-rehabilitacion-de-vivienda-y-regeneracion-urbana#inversiones>, (13.10.21)

AN EXPLORATION OF THE SOCIOECONOMIC STATUS OF BAME PROFESSIONALS IN THE UK CONSTRUCTION INDUSTRY

Emmanuel Aboagye-Nimo

Senior Lecturer - School of Environment and Technology, University of Brighton, Cockcroft Building, Lewes Road, Brighton, BN2 4GJ, UK. E-mail: e.aboagye-nimo2@brighton.ac.uk

Nalini Valydon

Trainee Cost Consultant - Arcadis; E-mail: nalini.valydon@arcadis.com

Samuel Osei-Nimo

Senior Lecturer - Birmingham City Business School, Birmingham City University, Millennium Point, Birmingham, B4 7XG, UK. E-mail: Samuel.Osei-Nimo@bcu.ac.uk

Abstract

The UK construction sector is a very significant aspect of the national economy. The industry is one of the largest employers amongst all other work sectors, making up more than 6% of countries entire workforce. Unfortunately, there is a great skills shortage in all aspects of the construction sector. These range from skilled trades (e.g., bricklayers and electricians) to professional roles (e.g., architects and project Managers). On the other hand, the UK construction industry is criticized for not expanding its recruitment pool to include potential workforce of a diverse background. The industry is predominantly made up of white males. Thus, Black, Asian & Minority Ethnic (BAME) and/or women are often left out. This paper explores how the construction industry can improve the socioeconomic status within Black, Asian, and Minority Ethnic communities through recruitment and retention. A gap lies amongst previous research which fail to recognise the implications of societal negligence towards BAME and how this affects their presence within the construction industry and alternatively prevents the wider sector from acting accordingly in addressing the realities of deprived communities. In this paper, a mixed-methodological approach was adopted to achieve the overarching aim. Six semi-structured interviews and 68 questionnaires surveys were undertaken. Key themes explored included Equality, Diversity and Inclusion (EDI) policies, underrepresentation in the sector and also, challenges relating to socioeconomic status of the potential entrants into the construction industry. Key findings from the analysed data reveal that there is role of societal negligence across the UK across the construction industry through surface level efforts without addressing grass root issues. The existing poor culture that the construction industry had resulted in a stigma that drives low entrant rates and fluctuation of BAME employees within the workforce. These further fuel the socioeconomic challenges that riddle these minority communities.

Keywords

Black, Asian & Minority Ethnic (BAME), Equality, Diversity & Inclusion (EDI), Leaky Pipeline, policymaking, underrepresentation.

Introduction

In recent years, the UK construction sector has contributed £117 billion to the UK economy, 6% of total economic output (Rhodes, 2019). From this statistic alone, the sector's importance cannot be overlooked. The sector also employs 6.6% of the UK workforce as of 2019 (ibid). It is no surprise that the construction industry is multi-faceted and serves as a catalyst and contributor for many other industries. However, a growing body of literature has investigated the impending decline of the industry through its inability to recruit and retain a skilled workforce and keep up with the growth of global infrastructure and development. Some will go to the extent to say that the construction industry is slowly losing its pace to keep up with innovation and miss out on an opportunity to maximise productivity and transform alongside other respective industries. One of the key challenges the sector faces is its skills shortage crisis. There are several arguments that these can be improved by widening the recruitment pool particularly to women and Black, Asian and Minority Ethnic (BAME) communities (George et al., 2021). Furthermore, such endeavours would not only help the construction industry but would benefit entire communities going through socioeconomic challenges. This research critically explores the socioeconomic status and experiences of BAME

communities in the UK construction industry with hope that the light shed will help improve the diversity and representation.

Construction Industry and BAME employees

The underrepresentation of BAME in the construction sector is an overlooked aspect of the research of the labour crisis. Previous work by Egan (1998), Wolstenholme (2009), and Farmer (2016) have convincingly addressed the decline of the construction industry yet fail to recognise how a diversified workforce will positively improve its performance.

Historically, the industry has suffered from labour and skills shortages, an ageing workforce, a lack of new entrants, and diversity. Improving BAME representation can help alleviate many issues surrounding the industry's decline (McGregor-Smith, 2017). Previous research has highlighted how industry studies often fail to acknowledge obstacles BAME individuals face, consequently affecting representation and retention in the sector (Clarke and Gribling, 2008). According to McGregor-Smith (2017), current organisations' tactics favour a single demographic over all employees, exposing unconscious prejudice. Individuals from BAME backgrounds are vulnerable to all sorts of prejudice and unconscious bias, particularly in the construction business. McGregor-Smith's (2017) findings highlighted disproportionate employment of Black and Asian people in the construction workforce compared to their White counterparts and revealed a lack of commitment to retaining BAME workers in construction. Caplan et al. (2009, p. 5) argue that the construction industry is practically a "white, male-dominated" environment" and that there is an overtly racist milieu that makes BAME people feel ostracised (Ashe and Nazroo, 2015).

Impact of a diversified workforce on the Construction Industry

Traditionally, the construction industry has faced increased criticism for its decline and inability to adapt to meet global labour and workforce demands, particularly in the UK (Shibani et al., 2020). Along with the increased awareness of sustainable development goals, such as ending global poverty, achieving gender equality, and implementing infrastructure that fosters innovation and inclusivity (United Nations Division for Sustainable Development, 2015), diversification of the workforce, and adapting production to technological advances have been deemed pertinent with the sectors future growth and evolution. Out of the 76% of the UK population that contributes to the total workforce, the BAME population has lower employment rates than the White demographic (UK Government, 2021). Surprisingly, only 4% of Black people in the UK's entire workforce work in the construction industry.

Clearly, BAME are underrepresented in the construction industry, and a significant problem in these data is that the construction industry is unable to gain the benefits of a diverse workforce. Gurjao (2006) recognises this study gap, noting that the construction industry in the United Kingdom continues to experience the second-highest level of skills deficit compared to the overall population of the UK workforce. Although the construction sector's talent deficit has improved since Gurjao's (2006) criticisms were published, By 2030, it is estimated that 27% of the construction sector will be possibly automated, further exacerbating the challenges of diversity in the industry. Caplan et al. (2009) and Ashe and Nazroo (2015) argue that the construction industry continually maintains a White and male-dominated culture. Dolan et al. (2020) highlight the limited representation of women in the industry to demonstrate the industry's inability to evolve and take advantage of the benefits of a diverse workforce. Dolan et al. (2020) stress that diversity fosters a variety of problem-solving approaches and fosters a healthy work atmosphere in which people feel comfortable bringing their whole selves to work and realising their full potential. This is critical for an industry like construction, which is constantly confronted with construction and technical issues.

Career Progression & Visibility in Executive Roles

McGregor-Smith (2017) highlighted that by 2051, Black & Minority Ethnic (BME) would contribute to 21% of the working-age population in the UK. As of 2015, BME contributes 10% of the workforce and 6% of executive roles. Considering the increase in BME availability within the workforce, it is concerning that BME is heavily underrepresented in the construction industry. A further concern has been drawn to the lack of career progression that BAME people and women experience in the construction industry and the visibility of BAME and women in executive roles. Norberg and Johansson (2020) cite the lack of representation of minorities as a factor associated with the poor image and culture of the current industry. Apart from demonstrating that construction

is a male-dominated industry, several researchers have pointed at the presence of a specific gender hierarchy where ideas of toughness and roughness play a vital role in determining workers' position in the hierarchy (Fielden et al., 2000; Iacuone, 2005).

Numerous studies (Dolan et al., 2020; Dixon-Fyle et al., 2020; Hewlett et al., 2013) have attempted to demonstrate the benefits of diverse leadership and how BAME and women can bring a variety of talent and perception on governance and performance. However, the unequal opportunities that BAME and women experience contributes to the stifled career progression. In more recent evidence, Coury et al. (2020) accurately reported that BAME individuals are pre-disposed to disadvantages in the workplace due to limited access to appropriate mentoring and training facilities that are inclusive to the distinct experiences of BAME and women in male and White dominated environments, such as construction. CIPD (2017) and Coury et al. (2020) establish the factors associated with the 'glass ceiling', which unearths key obstacles amongst women and BAME. The term 'glass ceiling' initially described the limit beyond which women managers and executives, especially white women, were prevented from advancement (Aboagye-Nimo et al., 2019). Today, these 'ceilings' and 'walls' continue to exist throughout most workplaces, but particularly for minorities and women.

Although Coury et al. (2020) findings are a realistic depiction of the challenges that BAME and women encounter, the main limitation to their work, respective to this area of research, is that it is primarily focused on the American workforce. However, similarities can be drawn between the American and UK construction industry as CIPD (2017) outlines that many BAME employees consistently experience racial discrimination and harassment within the workplace. In his ground-breaking research, Farmer (2016) recognised the significance of career development in diversifying and improving the talent amongst the construction workforce; however, one of the significant drawbacks in adopting Farmer's (2016) views is the inadequate observation of how challenging it can be to retrieve these opportunities due to an absence of visibility of BAME and women in executive roles.

Leaky Pipeline

Aboagye-Nimo et al. (2019) argue that in addition to the glass ceiling, women face the leaky pipeline whereby a change in career, career break to have a family, and other personal decisions see them exit the industry subsequently struggle to re-enter. Gurjao (2006, ii) defines the 'leaky pipeline' concept as "a knowledge gap in translating qualifications to employment and employment to retention". Gale and Davidson (2006) highlighted that BAME only represented 1.6-2% of construction professionals by 2006 in the UK. Despite Gurjao's (2006) and Gale and Davidson's (2006) work being published over a decade ago and perhaps outdated, the leaky pipeline has had a noticeable impact on the construction industry in recent years. This can be supported by McGregor-Smith (2017), who stipulates that there is a decline in BME graduates "progressing from application to hire stages of recruitment, Black African (65.9%), Asian and Indian (79.1%), and White (78.7%)" (McGregor-Smith, 2017, p. 53).

When considering the recommendations of Wolstenholme (2009) and Farmer (2016), which convincingly endorse the importance of education in mitigating the effects of the leaky pipeline, it is critical to recognise that these recommendations have insignificant effects on improving the performance of the construction industry. Moreover, Gurjao (2006) establishes that education can be viewed as a mechanism of preventing women from pursuing construction-related professions. That is, it can be argued that women and BAME tend to experience overqualification. Gurjao (2006) highlights that women can be identified as high achievers. Therefore, when experiencing a lack of career progression often leads to dissatisfaction, contributing to the leaky pipeline.

Impact of Political and Socioeconomic Factors on BAME in Construction Industry

It is widely accepted that diversity will provide multiple benefits to the construction industry's performance. Previous literature has recognised the underrepresentation of BAME yet repeatedly overlooked the implications of broader issues outside of the industry, such as socioeconomic disadvantages (Dainty et al., 2000). Concerning social factors, there is much debate around the impacts of austerity on BAME communities. Green (2018) and Runnymede Trust (2017) highlight that Black, Pakistani, and Bangladeshi groups tend to experience persistent poverty compared to

their white and other ethnic minority counterparts. Deprived communities facilitate further socioeconomic disadvantages, such as poor health and limited educational and employment opportunities. Perhaps, the socioeconomic disadvantages that BAME experience inherently impacts BAME children by stifling their capabilities, directly impacting the rates of new entrants into the construction industry.

Restricted employment opportunities and ethnicity pay gaps are vital economic factors that potentially contribute to the poor retention of BAME within the construction industry (Zwysen and Longhi, 2018; Blackby, 2005). Alternatively, high-paid construction roles are often located in London, which is associated with high transportation costs, which are not feasible for those living outside of London, who come from a deprived community or have been displaced due to gentrification, which most BAME have experienced to some degree.

It is widely accepted that employment in the construction industry is heavily associated with your social network than your ability; therefore, those exposed to the industry often share a similar economic background with those already working within the industry, which automatically puts BAME at a disadvantage. Perhaps, organisations and associated bodies can better support narrowing the ethnicity pay gap and provide improved resources to employment opportunities for BAME. The Office of National Statistics has reported a consistent pay gap between White and ethnic minority groups between 2012 and 2019 (Evans, 2020). Although the ethnicity pay gap decreased to 2.3% as of 2019, the margins are still very much present, rationalising the high concentration of BAME within low-paid occupations.

In terms of the influence of the political climate on BAME labour status, Allas (2020) contends that political decisions have a significant role in BAME socioeconomic position. That is, government spending cuts, government policy, and gentrification schemes put BAME at a disadvantage compared to their White counterparts. For example, historically, during national crises, Black women are the most affected with mental well-being, domestic responsibilities, and job security (Allas, 2020). Furthermore, ethnic minority women face intersectional inequality, which reinforces their doubly negative experiences with racism and sexism. Coury et al. (2020) add that the lacklustre efforts of the construction industry to improve the underrepresentation of BAME is a direct reflection of the government's attitudes towards improving the BAME community's socioeconomic status, as both are active in implementing strategies to appear diverse yet are non-existent in improving existing issues.

To sum up the discussion in the above sections, we have identified from the literature the key factors that contribute to the underrepresentation of BAME within the construction industry. Furthermore, the analysis has determined that one of the most significant issues contributing to the labour and skills shortage, as well as the underrepresentation of BAME within the industry, is the poor culture that is perpetuated and mirrored by societal neglect of BAME, which facilitates several issues such as the leaky pipeline, which previous literature has failed to recognise and presents a research gap.

Research Method

This research takes on a mainly qualitative approach. However, supplementary quantitative data is utilized to offer a broader overview of industry professionals' views the general topic of BAME and other minority groups' engagement in the sector. The qualitative data sought to offer insights from construction professionals by using semi-structured interviews.

In total, six in-depth semi-structured interviews were conducted. The interviewee cohort was made up of varied ethnic origins. Their career backgrounds included professional construction including Project Management and Quantity Surveying (public and private), academia (holding different specialised roles including consultancy), and policymaking. The participants of the interviews were chosen through industry contacts. A convenience sampling approach was adopted. The interviews explored different aspects of the construction industry and their experience with dealing with the underrepresentation of their ethnic and/or minority groups within their workplace. Additionally, the interviews served as a means of understanding how organisations uphold Equality, Diversity & Inclusion (EDI) policies to sustain and recruit a diversified and skilful talent pool. The subjective nature of interview responses offered the strength in the data collected as it was able to highlight lived experiences.

A cross-sectional online survey approach was utilised for the research via Google Docs to provide a snapshot of the variables included in the investigation at one particular point in time (Yang et al., 2017), in comparison to a longitudinal survey. A total of 68 responses were collected from the distribution of the surveys. Surveys were formulated to capture perceptions of the construction industry from the professionals in the sector. This was vital as it provided a sample of how individuals view the industry and its potential unappealing nature, which in turn contributes to the workforce shrinkage and decline in new entrants. The survey consisted of closed-ended questions with multiple-choice answers as well as questions determining how participants felt, such as whether they agree or disagree with the questions posed. As highlighted earlier, the survey responses were supplementary and were used to give a broader view of participants views on issues such as how diverse the sector was.

Data analysis was two-fold: thematic analysis and description statistical analysis for qualitative data and quantitative data respectively. The main aim of the data collection and analysis process was exploratory hence more emphasis being placed on the qualitative aspect.

Findings and analysis

The six interviewees included a Construction Project Manager, a Public Sector Policy Consultant, an Academic (a former Site Manager), an Academic (former Quantity Surveyor), a Consultant, a Business Director) and an Assistant Quantity Surveyor. Their time experience in the industry varied but there was a minimum of one year experience. Please note that unless necessary, quotes will not be attributed to individual interviewees as the focus is on the data.

The questionnaires were completed by 68 individuals from the construction sector. They had various roles in the industry. More importantly, they had varied demographic backgrounds including race. It was important that the study acknowledged the views of the dominant workforce group i.e., white males in order to establish whether they also perceive the industry in the manner as non-white workers. Out of responses, 32% were white, 36% were of Asian background (Chinese, Indian, Pakistani and other Asian) and 20% were black (African or Caribbean). There were also participants of mixed heritage. Please see Figure 1 for the breakdown.

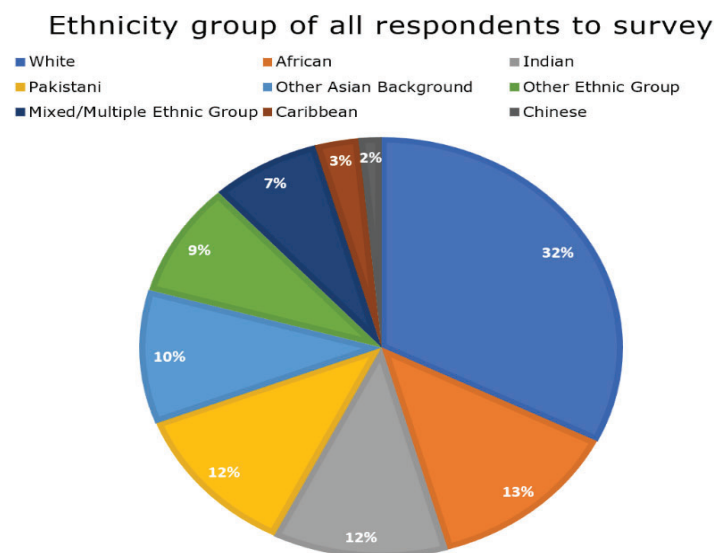


Figure 1: Ethnic background of survey respondents

Overview of the UK construction industry

There were varied views expressed by the interviewees in terms of the general image of a career in the UK construction industry. The interviewees were asked to describe the sector in relation to race and minority issues in their own understanding and the following were recorded:

‘Career progression is also stifled by a white, male dominated culture.’

'[An] Industry often neglects the advantages that women can bring to the workplace, and they need to begin to recognise this more.'

'Lack of career progression within the Public Sector, as it is not a regulated profession with clear routes.'

'Poor image to attract people from outside, media/news only perpetuates the stereotypical aspects of the industry.'

Overall, it was evident that interviewees firstly acknowledged a negative side to the industry as far as entering the career and career progression were concerned. Also, there were views that there were unclear paths of progression and that favoured people who were more familiar with the system and also people who already knew people in professional construction roles i.e., white males as they have traditionally been the main demographic to have carried out the tasks in the UK construction sector. These also stem from global migration waves and attraction of certain careers, but this aspect is beyond the scope of this study. Chudzikowski et al. (2020) highlight the role of sustainable career progressions and alignments that people build in the workplace.

Equality, Diversity and Inclusion policies

Although there are existing policies that cover minorities in the sector as well as other workplaces, the interviewees believed there was more work needed to achieve the desired outcomes. Most professional roles in the construction sector are governed by principles when they join professional bodies also known as Professional, Statutory and Regulatory Bodies (PSRBs). The most common ones in the UK include Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) and Chartered Institute of Building (CIOB). Such bodies have often promoted fairness and the implementation of best practice approaches. However, interviewees believed that on a policy level, they could be more helpful.

'No effective policies or marketing in schools, universities or from regulatory bodies such as RICS and CIOB.'

Other quotes revealed that there were policies in place but there was no evidence of their effectiveness.

'There are diversity and inclusion policies, but [I am] not aware of the effectiveness and how they are implemented.' In other words, the interviewee was not aware of the efficiency of the policies that were being implemented. Monitoring measures that have been implemented are crucial in ensuring that they are delivered on the intended proposals.

One interviewee who is a director highlighted as follows: *'Not aware of any policies or strategies'*. This further highlights the problem in some organisations because a director of a company should be hands-on in the creation and implementation of policies that will help their staff and also enhance their overall image. However, this director's response indicates that they were not aware that it was part of their responsibility.

'[Our] organisation incorporates EDI and makes sure everyone feels that they are in a safe environment, such as celebrating Chinese New Year, International Women's Day, Transition at Work policy and floats at the Pride Festivals.'

Although some of these practices are helpful, they have become tick box exercises in modern times. Also, these are not addressing the concerns people have when it comes to improving experiences and socioeconomic situations of BAME workers and their communities. Celebrating events that occur once year have no actual bearing on working policies and career aspirations. It can be argued that the management have good intentions on improving workers' experiences, but they must not be built around commercialised ethnic holidays and celebrations. It was revealed in the interview that there needs to be representation of BAME workers in policy making. Unfortunately, BAME workers are often not in senior management roles hence such endeavours do not include their views even though the policies are being made 'for them'.

Regarding the questionnaire data, approximately 78% of respondents recognised that their organisations promoted EDI within their workplace, however only 45% agreed that these EDI measures were effective. Despite recognising the benefits of a diversified workforce, further analysis reveals it would be appropriate to presume that the existing UK workforce is lacking in measures to

implement EDI effectively to attract and sustain diversity within the workplace, especially within the construction industry.

Underrepresentation of BAME in the sector

When a workplace is reflective of surrounding demographics, workers tend to flourish as they feel at home. However, all statistics point to the fact that BAME construction professionals are not representative of national population trends. This gap is even widened when it comes to management roles. There are issues when it comes to recruiting people for roles. Some interviewees believed there was a new trend of recruiting females and ethnic minorities as part of a quota and not based on competence. However, this was highlighted to further hurt the plight of potential industry entrants and those wishing to stay.

'[it is] vital to hire and employ the correct people for the job, not just hiring to fit an entry requirement'. This helps by widening the pool of employees as well as the wealth of knowledge being utilized in problem solving. If carried out without the right intent, the industry will be flooded by less competent workers further driving down the desire of BAME workers to join and also those in representative roles giving the wider demographic a bad image.

Education was known to be the key to improving the problem with underrepresentation. It was emphasized that introducing construction professional roles at a younger age would help students including BAME children to notice it as a viable option. One academic who worked with admissions pointed out that interest in joining the sector often came from students who were inspired by family members and personal connections. As stated continuously, there are more white males in the sector hence they would inspire people in their own demographics to join. Schools can thus bridge this gap by highlighting the importance through career days etc.

'The transition into [educating in the construction sector] stemmed from not enjoying the way construction was taught'. He added that he believed it limited the interest of potential future professionals of BAME backgrounds. This is a pragmatic approach to ensuring students are inspired while making career choices. This should also encouraged further down the educational ladder just like medical doctors are well known to little children but not builders etc.

'Construction related degrees were not advertised well enough for all people'. Individuals with direct links to the sector knew of the construction related roles. One participant revealed that many people do not know the difference between simple industry roles e.g., Building Surveying and Quantity Surveying. However, if they had personal contacts who already worked in the sector, they would be in a better position to appreciate the benefits that the sector could offer.

In the workplace, white survey respondents were asked about their views towards inclusive practices; 50% believed there was a culture of inclusivity white 35% believed otherwise. A further 15% were 'not sure'. In such contexts, not knowing whether there is an inclusive culture points to the indifference that could further oppress groups that may be overlooked.

Socioeconomic challenges

The socioeconomic issues are rife in the BAME communities. It has routes in immigration and immigrant parents falling below poverty lines upon arrival. This is partly because of educational levels being lower for many immigrants. Although there are clear immigrant pathways to recruit highly skilled and educated individuals, there are still many immigrants of low education and professional skills. Furthermore, certain areas of the country have high costs of living and since many BAME groups fall below the poverty line, it is difficult for them to thrive in the cities with the most benefits and advantages e.g. London. Nearly 50% of BAME household live in poverty in the UK in comparison to less than 20% of white households (Butler, 2020).

'Majority of sufficiently paid roles are based in London, which restricts those living outside of London or cannot afford commuting'. Based on the opportunities in these areas, it is difficult for the BAME communities to capitalise on the advantages in these areas. In addition, poorer communities do not have good social amenities and these affect students' abilities to learn and excel in school. This further affects social mobility in the long run and people get caught below a perpetual barrier.

A few quotes were offered on how socioeconomic challenges could be overcome.

'Transformation begins in schools and universities.'

'Regulatory bodies like RICS can influence across business and the industry.'

Universities have funds to support disadvantaged students, but this is only accessible once the individual has gained entry into the institution. One interview stated that these come in different names including 'Widening Participation' and 'Success for All'. However, these were not specific to construction related programmes or specific to BAME communities. It is believed that opportunities can be created for poor communities especially BAME areas. These can be facilitated by PSRBs just like the Construction Industry Training Board (CITB) has been helping improve construction training and upskilling by securing and distributing grants.

On the other hand, it was known that the education that people struggle to attain was key in restricting the career progressions which further exacerbates the socioeconomic challenges. It was identified that university and education was key to success in professional roles in construction but more importantly, it was the area that BAME communities were struggling to overcome.

'Yes, most definitely. In some disciplines like construction, you have to go through higher education, and they look at grades.'

'When you talk of poorer communities, this captures more BAME communities than white. Often these groups have not seen people who have academically driven careers, so from the beginning indirectly they are being pushed one way.'

'So strongly, because if you are disadvantaged from early on in education, especially black children, that influences you educational and career development.'

'Migration whether it's illegal or legal, for those of Asian backgrounds, will have moved with a good standard in education and financial scaffold to progress further. Those from African/Caribbean backgrounds would have moved to the UK just for better life, doing nonprofessional jobs, therefore chances of children wanting to join course like construction are slim.'

'Construction industry is not marketed as being accessible by everyone, therefore it widens that disproportion.'

The above shows that industry professionals see the problem and know the issue requires a bigger solution than the sector alone although they believe more needs to be done internally. Furthermore, they all agreed that there is a skills shortage that would benefit immensely from widening the pool improve the numbers and competence levels.

In the questionnaires, the respondents overwhelmingly agreed (81%) that the industry would benefit from a diversified workforce. This is agreed in most other work environments thereby showing that the sector is not alone in this problem.

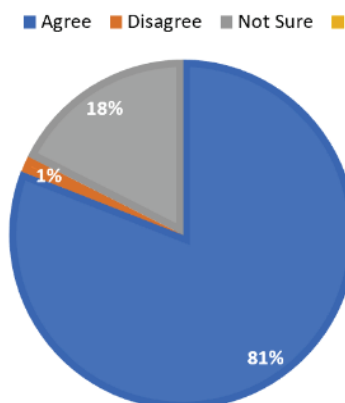


Figure 2: Number of respondents agreeing with benefits of a diversified workforce

As shown above, only 18% disagreed that the industry would not benefit from a diversified workforce. It would be beneficial for future research to explore what the reasons are if any on why the industry would not be enhanced by a diversified workforce.

Conclusions

The research has outlined the impact of improving undesirable aspects of the construction industry to successfully attract and retain BAME workers. Diversity within the industry will aid in improving the socioeconomic status of BAME as not only does it provide employment opportunities, but also allows BAME to receive career development facilities that sensitively approaches the distinct experiences of BAME, including women of colour as they will inspire future generations. However, this can only be successful if organisations illustrate an inclusive culture that is governed by accountable leaders. Executing these reformations will successfully provide BAME communities with access to facilities within local communities that they otherwise are unable to access because of their socioeconomic background.

Delivering good social amenities in deprived areas would provide better facilities for BAME communities and could decrease the poverty rates that BAME have been susceptible to. Prioritising this issue would improve BAME socioeconomic background, as social infrastructure can confront the grassroot problems that prevent BAME children especially from reaching their full potential and prevent stifled educational and career development.

REFERENCES

- Aboagye-Nimo, E., Wood, H. and Collison, J. (2019) Complexity of women's modern-day challenges in construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 26 (11), pp. 2550-2565.
- Allas, T., Canal, M., Hunt, V., and Olanrewaju, T. (2020) *Problems amid progress: Improving lives and livelihoods for ethnic minorities in the United Kingdom*. McKinsey & Company Public and Social Sector Practice.
- Ashe, S.D., and Nazroo, J. (2015) *Equality, Diversity and Racism in the Workplace: A Qualitative Analysis of the 2015 Race at Work Survey*. Business in the Community.
- Blackaby, D. H., D. G. Leslie, P. D. Murphy, and O'Leary, N. C. (2005) Born in Britain: How Are Native Ethnic Minorities Faring in the British Labour Market? *Economics Letters*. 88 (3), pp. 370–375.
- Butler, P. (2020) Nearly half of BAME UK households are living in poverty. The Guardian [online]. Available at: <https://www.theguardian.com/society/2020/jul/01/nearly-half-of-bame-uk-households-are-living-in-poverty> [Accessed Dec 2021].
- Caplan, A., Aujla, A., Prosser, S. and Jackson, J. (2009) *Race Discrimination in the Construction Industry: A Thematic Review*. Equality and Human Rights Commission.
- Chudzikowski, K., Gustafsson, S. and Tams, S., (2020) Constructing alignment for sustainable careers: Insights from the career narratives of management consultants. *Journal of Vocational Behavior*, 117, p.103312.
- CIPD (2017) *Addressing the barriers to BAME employee career progression to the top report*. Chartered Institute of Personnel Development.
- Clarke, L. and Gribling, M. (2008) Obstacles to diversity in construction: the example of Heathrow Terminal 5. *Construction Management and Economics*. 26(10), pp. 1055-1065.
- Coury, S., Huang, J., Kumar, A., Prince, S., Krivkovich, A. and Yee, L. (2020) Women in the Workplace 2020 [online]. Available at: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/diversity-and-inclusion/women-in-the-workplace> [Accessed Dec 2021].
- Dainty, A. R. J., Bagilhole, B. M., and Neale, R. H. (2000). A grounded theory of women's career under-achievement in large UK construction companies. *Construction Management and Economics*. 18(2), pp. 239–250.
- Dixon-Fyle, S., Dolan, K., Hunt, V. and Prince, S. (2020) *Diversity wins: How inclusion matters* [online]. Available at: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/diversity-and-inclusion/diversity-wins-how-inclusion-matters> [Accessed Dec 2021].

Dolan, K., Hunt, V., Prince, S. and Sancier-Sultan, S. (2020) *Diversity Still Matters* [online]. Available at: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/diversity-and-inclusion/diversity-still-matters> [Accessed Dec 2021].

Egan, J. (1998) *Rethinking Construction*. Department of Trade and Industry. London.

Evans, T. (2020) *Ethnicity Pay Gaps in Great Britain 2019*. London, Office for National Statistics.

Farmer, M. (2016) *Modernise or Die time to decide the industry's future*. Construction Leadership Council.

Fielden, S. L., Davidson, M. J., Gale, A. W., and Davey, C. L. (2000). Women in construction: The untapped resource. *Construction Management and Economics*. 18(1), pp. 113–121.

Gale, A.W. and Davidson, M.J. (2006) *Managing Diversity and Equality in Construction: Initiatives and Practice*. London, CRC Press.

George, A., Aboagye-Nimo, E., and Mamphey, S. (2021). The effects of skills shortages on construction costs in the UK. *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Management, Procurement and Law*, pp. 1-9.

Green, D. (2018) *Race Disparity Audit Summary Findings from the Ethnicity Facts and Figures website*. Cabinet Office.

Gurjao, S. (2006) *Inclusivity: The Changing Role of Women in the Construction Workforce*. The CIOB.

Hewlett, S.A., Marshall, M. and Sherbin, L. (2013) How diversity can drive innovation. *Harvard Business Review*. 91(12), pp. 30-34.

Iacuone, D. (2005). Real men are tough guys: Hegemonic masculinity and safety in the construction industry. *The Journal of Men's Studies*. 13(2), pp. 247–266.

McGregor-Smith, B. (2017) *Race in The Workplace*. [e-book]. Department for Business, Energy & Industrial Strategy. Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/race-in-the-workplace-the-mcgregor-smith-review> [Accessed 4 November 2021].

Runnymede Trust (2017) *Intersecting Inequalities: The Impact of Austerity of Black and Minority Ethnic Women in the UK*. [online] Available at: <https://www.intersecting-inequalities.com/> [Accessed 4 November 2021].

Shibani, A., Hassan, D., and Shakir, N. (2020). The Effects of Pandemic on Construction Industry in the UK. *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 11(6), p. 48.

UK Government (2020) *Employment by occupation* [online]. Available at: <https://www.ethnicity-facts-figures.service.gov.uk/work-pay-and-benefits/employment/employment-by-occupation/latest> [Accessed 04 Dec 2021]

United Nations Division for Sustainable Development (2015) *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*. United Nations Division for Sustainable Development.

Wolstenholme, A. (2009) *Never waste a good crisis: A review of progress since Rethinking Construction and thoughts for our future*. London, Construction Excellence.

Yang, F., Li, X., Zhu, Y., Li, Y. and Wu, C., 2017. Job burnout of construction project managers in China: A cross-sectional analysis. *International Journal of Project Management*, 35(7), pp.1272-1287.

Zwysen, W. and Longhi, S. (2018) Employment and earning differences in the early career of ethnic minority British graduates: the importance of university career, parental background and area characteristics. *Journal of Ethnic and Migration Studies*. 44(1), pp. 154-172.

CHAPTER 2

SUSTAINABILITY

CAPÍTULO 2 SOSTENIBILIDAD

ANÁLISIS HIGRÓTERMICO DE UNA CUBIERTA AJARDIANADA EN SERVICIO

HYGROTHERMAL ANALYSIS OF GREEN ROOF IN SERVICE

Júlia G. Borràs

*Investigadora en el Dpto. Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Arquitecta, Estudiante de Doctorado en la UPV. E-mail: jugarbor@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València. Architect, PhD student UPV. E-mail: jugarbor@csa.upv.es*

Ángeles Mas Tomás

*Investigadora en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesora Titular de Universidad, Arquitecta. Doctora Arquitecta por la UPV. E-mail: amas@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València. Senior Lecturer, Architect. PhD Architect by UPV. E-mail: amas@csa.upv.es*

Carlos Lerma Elvira

*Investigador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular de Universidad, Arquitecto, Master en Conservación del Patrimonio Arquitectónico. Doctor Arquitecto por la UPV. E-mail: clerma@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València. Senior Lecturer, Architect, Master in Heritage. PhD Architect by UPV. E-mail: clerma@csa.upv.es*

Enrique Gil Benso

*Investigador en el Departamento de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular de Universidad, Arquitecto. Doctor Arquitecto por la UPV. E-mail: egil@upv.es
Researcher in the Dept. of Continuous Medium Mechanics and Theory of Structures; Universitat Politècnica de València. Senior Lecturer, Architect. PhD Architect by UPV. E-mail: egil@upv.es*

Jose Vercher Sanchis

*Investigador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular de Universidad, Arquitecto. Doctor Arquitecto por la UPV. E-mail: jvercher@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València. Senior Lecturer, Architect. PhD Architect by UPV. E-mail: jvercher@csa.upv.es*

Abstract

Green roofs have proven to be a very efficient tool in meeting the sustainable challenges of today's society. Its benefits with respect to the three main axes of sustainability (economic, social and environmental) have encouraged a boom in its research and application. Among the many advantages that these systems encompass, their better energy performance and the limitation of the consumption of resources for air conditioning are widely known and remarkable. Due to the current restrictive regulations in relation to the energy efficiency of the building's thermal envelope, the improvements by the use of green roofs are more notable in the field of the rehabilitation. The hygrothermal study of a green roof used in the refurbishment of a public educational building allows studying its operation in relation to the temperature and relative humidity distributions of the different layers of the constructive system. This confirms the insulating capacity provided by a minimum layer of substrate (15 cm), limiting, or eliminating, the need to use an air conditioning system to achieve a comfortable interior temperature.

Keywords

Green roof, Rehabilitation, Energy consumption, Temperature distribution, Relative humidity.

Introducción

El diseño y la construcción de la arquitectura van, poco a poco, convirtiéndose en herramientas cada vez más útiles para la consecución de los retos sostenibles que persigue la sociedad actual. Los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenibles), propuestos por las Naciones Unidas en 2015 e integrados en la Agenda 2030 a nivel español (Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030), proponen 17 objetivos para conseguir, en el año 2030, un planeta sostenible. Dentro de estos objetivos se incluyen referencias claras orientadas a frenar el cambio climático (objetivo 13), incluso desde el diseño de las ciudades y sus edificios (objetivo 11), buscando así disminuir el daño sobre el medio ambiente a la vez que se intenta revertir en lo posible el deterioro ya causado. Al final, el entorno en el que vivimos debe ser saludable si pretendemos desarrollarnos como personas sanas. Olvidar el medio ambiente y damnificarlo acabará produciendo daños irreversibles en los otros dos ejes importantes: el económico y el social.

En el campo de la construcción, la arquitectura sostenible pretende dar respuesta a estas necesidades mediante el desarrollo de edificios que consuman menos cantidad de recursos y que aprovechen las características climáticas en su diseño, adaptándose al entorno (arquitectura bioclimática) (Ministerio de Fomento 2019; Ching y Shapiro 2015). Dentro del gran espectro de soluciones que engloba la arquitectura sostenible, el uso de cubiertas ajardinadas se ha mostrado, a través de gran cantidad de estudios científicos y aplicaciones reales, como una estrategia muy eficaz, especialmente en climas como el Mediterráneo, caracterizado por temperaturas elevadas, una intensa radiación solar y periodos largos de sequía seguidos por intensas precipitaciones (Gobierno de Navarra). El uso de estos sistemas ajardinados permite limitar el consumo energético de los edificios (Cascone 2019), reducir la cantidad de agua por escorrentía de lluvia (limitando así también el riesgo de inundaciones) (Simmons et al. 2008), captar y disminuir la cantidad de CO₂ y partículas contaminantes en el aire (Wong et al. 2003), reducir la temperatura ambiental (Britto 2001) y mejorar la biodiversidad (Van Mechelen, Dutoit y Hermy 2015), entre otras ventajas.

Considerando que casi 6 millones de edificios del parque de viviendas español actual están contruidos antes de 1980 (IDAE 2007), la renovación y rehabilitación de ellos mediante el empleo de cubiertas ajardinadas puede implicar importantes valores de ahorro energético (Borràs, Mas y Lerma 2021). Es por ello por lo que se plantea el análisis del comportamiento higrótérmico de una cubierta ajardinada instalada en el proyecto de rehabilitación y reforma de un edificio docente público ubicado en Valencia (España).

Metodología

El coste de construcción, especialmente en proyectos de rehabilitación con un presupuesto ajustado, puede acabar decantando a los propietarios por la desestimación de una cubierta ajardinada simplemente porque el coste inicial de construcción se considera excesivo y no se conocen los beneficios a largo plazo de estos sistemas (Borràs et al. 2021). El empleo de cubiertas con un mayor espesor de substrato implicará pesos propios mayores y, considerando la estructura existente en el edificio a rehabilitar y las cargas para las cuales estaba preparada, es posible que se requiera de un refuerzo estructural, aumentando así todavía más el coste de construcción. El caso de estudio consiste en una cubierta ajardinada en un edificio docente público. Esta cubierta funciona como terraza accesible y transitable (Imagen 1). Respecto al sistema constructivo, se trata de una cubierta ajardinada extensiva, es decir, con una capa de substrato vegetal de hasta 15 cm. Se han instalado árboles de bajo porte cuyas raíces son superficiales y no requieren de una gran profundidad para desarrollarse. En el resto de la superficie se ha dispuesto una capa separadora para tratar de impedir que proliferen malas hiervas, cubierta con un substrato inorgánico similar a las gravas. Se ha realizado un análisis previo del sistema constructivo empleado, y con ello se suponen la sucesión de capas indicada en la Imagen 2a. Como se describirá más adelante, hasta la formación de pendiente, bajo el aislamiento térmico, se han podido comprobar las capas y sus espesores al colocar los sensores de temperatura y humedad relativa.

Introduction

The design and construction of architecture are, bit by bit, becoming increasingly useful tools for achieving the sustainable challenges pursued by today's society. The SDGs (Sustainable Development Goals), proposed by the United Nations in 2015 and integrated into the 2030 Agenda at the Spanish level (Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030), propose 17 objectives to achieve, by the year 2030, a sustainable planet. These objectives include clear references aimed at slowing down climate change (objective 13), even from the design of cities and their buildings (objective 11), thus seeking to reduce the damage to the environment while trying to reverse as far as possible the deterioration already caused. Ultimately, the environment we live in must be healthy if we are to develop as healthy people. Forgetting the environment and damaging it will end up producing irreversible harm in the other two important axes: the economic and the social.

In the construction field, sustainable architecture aims to respond to these needs through the development of buildings that consume fewer resources and that take advantage of the climatic characteristics in their design, adapting to the environment (bioclimatic architecture) (Ministerio de Fomento 2019; Ching and Shapiro 2015). Within the wide spectrum of solutions that sustainable architecture encompasses, the use of green roofs has been shown, through a large number of scientific studies and real applications, as a very effective strategy, especially in climates such as the Mediterranean, characterized by high temperatures, intense solar radiation and long periods of drought followed by intense rainfall (Gobierno de Navarra). The use of these landscaped systems allows to limit the energy consumption of buildings (Cascone 2019), reduce the amount of water due to rain runoff (thus also limiting the risk of flooding) (Simmons et al. 2008), capture and reduce the amount of CO₂ and pollutant particles in the air (Wong et al. 2003), decrease the ambient temperature (Britto 2001) and improve biodiversity (Van Mechelen, Dutoit and Hermy 2015), among other advantages.

Considering that almost 6 million buildings in the current Spanish housing stock were built before 1980 (IDAE 2007), the renovation and rehabilitation of them using green roofs can imply important energy saving values (Borràs, Mas and Lerma 2021). That is why the analysis of the hygrothermal behaviour of a green roof installed in the rehabilitation project of a public educational building located in Valencia (Spain) is proposed.

Methodology

The cost of construction, especially in rehabilitation projects with a tight budget, can bend owners towards rejecting a green roof simply because the initial cost of construction is considered excessive and the long-term benefits of these systems are not known (Borràs et al. 2021). It should be considered that the use of roofs with a greater substrate thickness will imply higher inherent weights and, considering the existing structure in the building to be rehabilitated and the loads for which it was prepared, it is possible that requires structural reinforcement, thus further increasing the cost of construction. The study case consists of a green roof in a public educational building. This roof works as an accessible and passable terrace (Image 1). Regarding the construction system, it is an extensive green roof, that is, with a layer of vegetable substrate of up to 15 cm. Small trees have been installed whose roots are shallow and do not require a great depth to develop. In the rest of the surface a separating layer has been arranged to try to prevent the proliferation of weeds, covered with an inorganic substrate like gravels. Carrying out a previous analysis of the construction system used, the succession of layers indicated in Image 2a is assumed. As will be described later, until the formation of a slope, under the thermal insulation, the layers and their thicknesses have been verified by placing the temperature and relative humidity sensors.

It is considered appropriate to make a valuation of the inherent weight and the construction cost of this section, comparing it with a possible traditional solution, also inverted, without landscaping and with a gravel finish (Image 2b) (Table 1). In accordance with the project execution period (2004-2007), the thermal transmittance of the green roof has been studied in relation to the regulations in force at that time (Ministerio de Fomento 2006).



Imagen 1. Cubierta ajardinada transitable de estudio. Image 1. Passable green roof to study.

Se considera oportuno hacer una valoración del peso propio y el coste de construcción de esta sección, comparándolo con una posible solución tradicional, también invertida, sin ajardinamiento y con acabado de grava (Imagen 2b) (Tabla 1). De acuerdo con el período de ejecución del proyecto (2004-2007), se ha estudiado la transmitancia térmica del sistema ajardinado en relación con la normativa vigente en ese momento (Ministerio de Fomento 2006). El valor de transmitancia térmica de la sección constructiva ajardinada es de $0.44 \text{ W/m}^2\text{K}$, situándose por debajo de los valores límite indicados en la normativa mencionada de acuerdo con su ubicación, en la ciudad de Valencia (zona climática B3: $0.59 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $0.45 \text{ W/m}^2\text{K}$). Para el supuesto de realizar una cubierta tradicional de grava se ha calculado el espesor necesario de aislamiento térmico para cumplir con los valores límite de transmitancia térmica y aproximarse al valor de la cubierta ajardinada, consiguiendo con 6.5 cm de espesor una transmitancia térmica de $0.47 \text{ W/m}^2\text{K}$. El espesor de la capa aislante aumenta más del doble, ya que hemos eliminado la capa de substrato orgánico, con cierta capacidad aislante.

Tabla 1. Coste de construcción y peso propio de las posibles soluciones.

Table 1. Construction cost and inherent weight of possible solutions.

Sistema constructivo/ Construction system	Coste de construcción/ Construction cost	Peso propio/Inherent weight	
		Sin árbol/ No tree	Con árbol/ With tree
Cubierta ajardinada/ Green roof	96.04 €/m ²	4.87 kN/m ²	5.07 kN/m ²
Cubierta tradicional con grava/ Traditional gravel roof	53.38 €/m ²	3.00 kN/m ²	

Se plantea el uso de sensores de temperatura y humedad relativa para conocer el comportamiento higrotérmico del sistema. Los datos obtenidos corroborarán una mejora de la eficiencia energética del espacio bajo cubierta y, por lo tanto, introduce beneficios a largo plazo capaces de compensar el coste ligeramente superior en la fase de construcción. Se emplean seis sensores TH1165 de temperatura y humedad relativa de la marca Perfect Prime (Perfect Prime). Cuatro de los sensores (S1-S4) se han dispuesto entre las capas de la cubierta ajardinada para estudiar las variaciones térmicas y de humedad relativa que se producen en cada una de ellas (Imagen 2a, Imagen 3). El S5 se ha colocado en el interior de la copa de uno de los árboles para controlar la disminución de temperatura que se produce por el efecto de sombra y evapotranspiración de la vegetación. Por último, el sensor S6 se ha dispuesto en una zona exterior con sombra, posibilitando luego una comparación con el sensor S4, constantemente expuesto a la radiación solar directa.

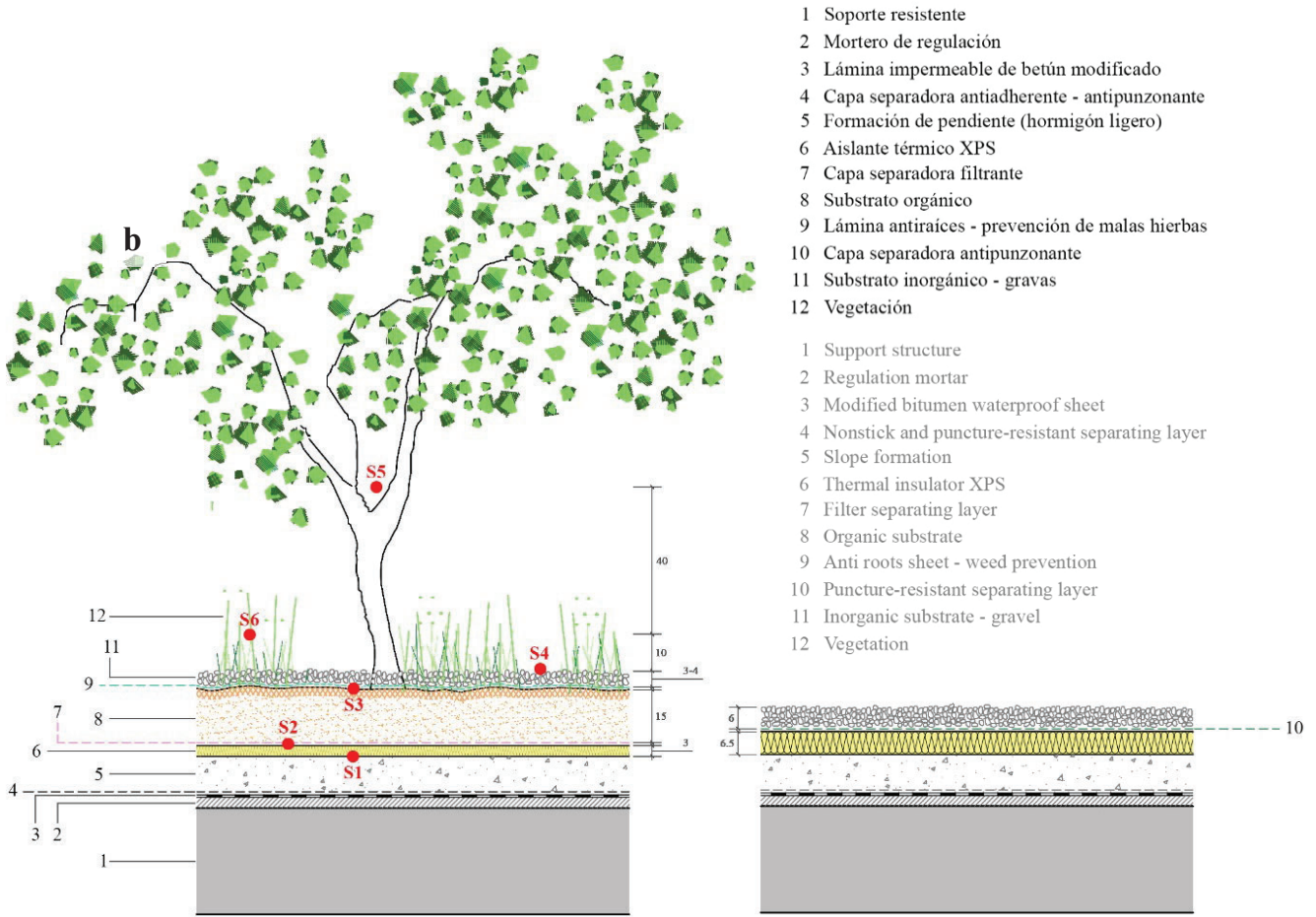


Imagen 2. Cubierta ajardinada con ubicación de sensores (a) y posible cubierta tradicional con acabado de grava (b).
 Image 2. Green roof with sensors location (a) and possible traditional roof with gravel finish (b).

The thermal transmittance value of the landscaped construction section is $0.44 \text{ W/m}^2\text{K}$, which is below the limit values indicated in the aforementioned regulations according to its location, in the city of Valencia (climatic zone B3: $0.59 \text{ W/m}^2\text{K}$ and $0.45 \text{ W/m}^2\text{K}$). For the assumption of making a traditional gravel roof, the necessary thickness of thermal insulation has been calculated to accomplish with the limit values of thermal transmittance and approach the value of the green roof, achieving a thermal transmittance of $0.47 \text{ W/m}^2\text{K}$ with a 6.5 cm thickness.



Imagen 3. Ubicación de los sensores: S3 (a) y S6 (b).
 Image 3. Sensor locations: S3 (a) and S6 (b).

Resultados

Los sensores se han programado para obtener datos de temperatura y humedad relativa cada media hora. Se inició la toma de datos el 8 de octubre de 2020, prolongándose hasta el 25 de noviembre de ese mismo año, obteniendo un total de 11 175 registros entre los seis sensores.

Al comparar los datos de temperatura de los seis sensores a lo largo de 24 horas se observan las diferentes variaciones térmicas diarias en cada una de las posiciones (Imagen 4). Se escogen para ello los registros tomados entre las 00:00 del día 9 de octubre y las 00:00 del día 10 de octubre, ambas incluidas. La temperatura ambiente máxima fue de 23.1 °C (12:00 h) y la mínima de 17.8 °C (08:00 h). Se puede observar que los sensores S5 y S6 son los que presentan una onda térmica más similar a los valores de temperatura ambiente, aunque con temperaturas mayores en las horas centrales del día debido al calor emitido por las superficies cercanas con radiación solar directa. El sensor S4 también recibe radiación directa, ya que las cubiertas habitualmente no disponen de elementos que les arrojen sombra, llegando a recibir más radiación solar y alcanzando, por lo tanto, mayores temperaturas, incluso que las fachadas orientadas a sur (en el hemisferio norte) (Britto 2001). Como se puede observar, en este sensor el rango de temperaturas es mayor, con un diferencial de 30.5 °C, en comparación con la amplitud térmica de la temperatura ambiental, de 5.3 °C. El sensor S3 presenta una gráfica similar al S4, pero con una amplitud térmica menor (18.4 °C). Los sensores S1 y S2 se muestra ya claramente influenciados por el poder aislante y la inercia térmica del substrato y el aislante térmico. En el caso de S2 la amplitud térmica es similar a la de la temperatura ambiente (6.3 °C), mientras que en el caso del S1 el rango de temperaturas a lo largo del día es tan solo de 4 °C. Como se observa en la Imagen 4, además, las temperaturas obtenidas en el sensor S1 se encuentran casi todo el tiempo dentro del rango de temperaturas de confort interior (22-28 °C) (Morales 2019), por lo que no sería necesario emplear ningún sistema de climatización para modificar las temperaturas interiores.

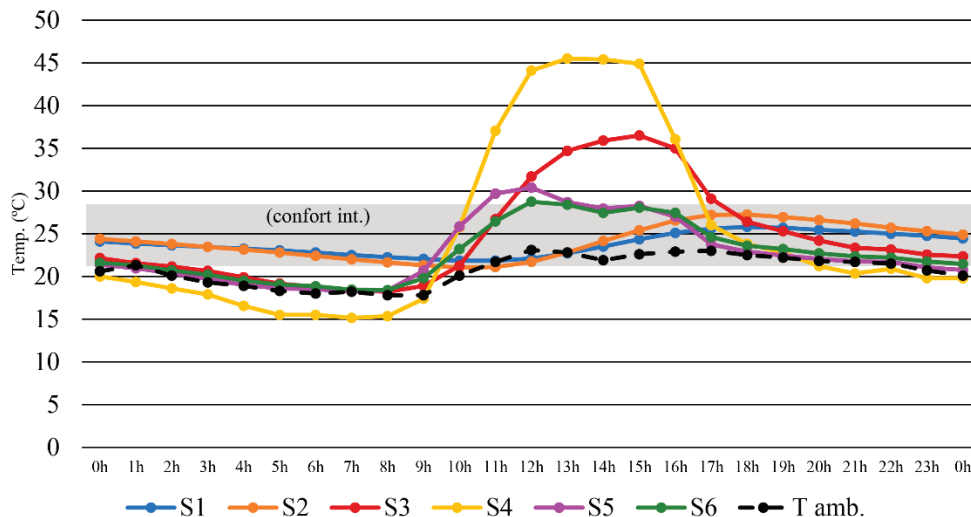


Imagen 4. Distribución de temperaturas durante el día 09/oct/2020. Image 4. Temperature distribution during the day 09/oct/2020.

También se puede observar un desfase de la onda térmica. Las máximas obtenidas en los sensores S1 y S2 fueron de 25.8 °C y 27.3 °C, respectivamente. Se registraron ambas a las 18:00 h, cinco horas después que la máxima (45.5 °C) en el sensor S4. En el caso de comparar los valores promedio de humedad relativa durante todo el proceso de toma de datos se obtiene una gráfica casi invertida, donde las mayores variaciones se observan de nuevo en el sensor S4, ya que en las horas de mayor temperatura la humedad relativa disminuye notablemente (Imagen 5). En este caso los sensores S1 y S2, al encontrarse bajo el substrato orgánico, con capacidad de almacenamiento y retención de agua, muestran una humedad relativa casi constante y cercana al 100 %.

The thickness of the insulating layer increases more than double, since we have eliminated the organic substrate layer, with some insulating capacity. The use of temperature and relative humidity sensors is considered to know the hygrothermal behaviour of the system. The data obtained will corroborate an improvement of the energy efficiency of the space under roof and, therefore, introduces long-term benefits capable of offsetting the slightly higher cost in the construction phase.

Six TH1165 temperature and relative humidity sensors are used of the Perfect Prime brand (Perfect Prime). Four of the sensors (S1-S4) have been arranged between the layers of the green roof to study the thermal and relative humidity variations that occur in each of them (Image 2a, Image 3). The S5 sensor has been placed inside the top of one of the trees to control the decrease in temperature that is produced by the effect of shade and evapotranspiration of the vegetation. Lastly, the S6 sensor has been placed in a shady outdoor area, then allowing a comparison with the S4 sensor, constantly exposed to direct solar radiation.

Results

The sensors have been programmed to obtain temperature and relative humidity data every half hour. Data collection began on October 8, 2020, lasting until November 25 of that same year, obtaining a total of 11 175 records between the six sensors.

When comparing the temperature data of the six sensors over 24 hours, the different daily thermal variations in each of the positions are observed (Image 4). For this purpose, the records taken between 00:00 on October 9 and 00:00 on October 10 are chosen, both included. The maximum ambient temperature was 23.1 °C (12:00 h) and the minimum was 17.8 °C (08:00 h). It can be seen that sensors S5 and S6 are the ones that present a thermic wave more similar to the ambient temperature values, although with higher temperatures in the central hours of the day due to the heat emitted by the nearby surfaces with direct solar radiation. The S4 sensor also receives direct radiation, since the roofs usually do not have elements that shed shade on them, receiving more solar radiation and, therefore, reaching higher temperatures, even than the facades facing south (in the northern hemisphere) (Britto 2001). As can be seen, in this sensor the temperature range is greater, with a differential of 30.5 °C, compared to the thermal amplitude of the ambient temperature, of 5.7 °C. The S3 sensor presents a graph similar to the S4, but with a lower thermal amplitude (18.4 °C). The sensors S1 and S2 are already clearly influenced by the insulating power and the thermal inertia of the substrate and the thermal insulator. In the case of S2, the thermal amplitude is similar to that of ambient temperature (6.3 °C), while in the case of S1 the range of temperatures throughout the day is only 4 °C. As can be seen in Image 4, in addition, the temperatures obtained in the S1 sensor are almost all the time within the indoor comfort temperature range (22-28 °C) (Morales 2019), so it would not be necessary to use air conditioning systems to modify interior temperatures.

A delay (phase change) of the thermic wave can also be observed. The maximums obtained in sensors S1 and S2 were 25.8 °C and 27.3 °C, respectively. Both were recorded at 18:00 h, five hours after the maximum (45.5 °C) on the S4 sensor. In the case of comparing the average values of relative humidity throughout the data collection process, an almost inverted graph is obtained, where the greatest variations are observed again in the S4 sensor, since in the hours of higher temperature the relative humidity decreases notably (Image 5). In this case, the sensors S1 and S2, being under the organic substrate, with storage and water retention capacity, show an almost constant relative humidity close to 100%.

Conclusions

This research analyses the hygrothermal behaviour of a real roof in service. From the results obtained, the thermal inertia of the substrate and its operation as a heat store are confirmed. Thanks to the temperature distribution of October 9, it is observed that the amplitude of the thermic wave of the sensors S1 and S2 is less than that of the ambient temperature and the sensors S3, S5 and S6, and this difference is even more evident with respect to the S4 sensor. But the delay of the thermic wave is also relevant, thanks to the thermal inertia of the substrate and its heat storage. It is observed that throughout the day studied, the green roof would maintain the interior temperature within the comfort range, without the need to use air conditioning systems.

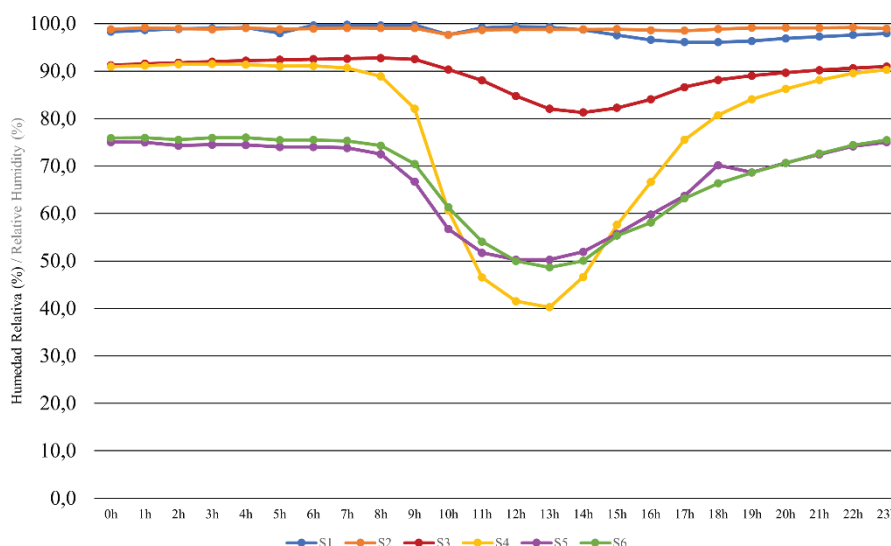


Imagen 5. Promedio de humedades relativas durante el periodo del 08/oct/2020 a 25/nov/2020.
Image 5. Average relative humidity during the period from 08/oct/2020 to 25/nov/2020.

Conclusiones

En esta investigación se analiza el comportamiento higrotérmico de una cubierta real en servicio. De los resultados obtenidos, se confirma la inercia térmica del substrato y su funcionamiento como almacén de calor. Gracias a la distribución de temperaturas del día 9 de octubre, se observa como la amplitud de la onda térmica de los sensores S1 y S2 es menor a la de la temperatura ambiente y los sensores S3, S5 y S6, y esta diferencia es todavía más evidente respecto al sensor S4. Pero también resulta relevante el desfase de la onda térmica, gracias a la inercia térmica del substrato y su almacenamiento de calor. Se observa que, a lo largo de todo el día estudiado, la cubierta ajardinada mantendría la temperatura interior dentro del rango de confort, sin necesidad de emplear sistemas de climatización. En cambio, el uso de una cubierta tradicional de grava implicaría valores de temperatura interior por debajo de los 22 °C, necesiéndose aporte energético para alcanzar la temperatura de confort. En relación con la humedad relativa de las capas de la cubierta ajardinada, se puede observar cómo es capaz de almacenar una cierta cantidad de agua. Esta agua, al evaporarse en los momentos de mayor radiación solar y temperatura, enfría la superficie del substrato y reduce la temperatura exterior de la cubierta.

Tras el análisis de los datos y gráficos aportados se confirma el comportamiento aislante térmico del substrato y su capacidad de almacenamiento de agua, incluso con espesores reducidos (15 cm). El aporte de peso propio y el coste de construcción de esta solución extensiva se aproxima a los valores para una cubierta tradicional de grava, y su funcionamiento como herramienta de control del consumo energético es factible observando la distribución de temperaturas del día 9 de octubre. El sensor S1 se encontró todo el tiempo dentro de la franja de temperatura de confort interior. Por lo tanto, a pesar de no tratarse de una época calurosa y con elevada radiación solar, momentos en los que mejor funciona una cubierta ajardinada, su comportamiento térmico es adecuado, permitiendo reducir el consumo energético del edificio.

Notas

Los datos de temperatura ambiente empleados en esta investigación han sido obtenidos en la estación meteorológica instalada en el campus universitario por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y facilitados por la Unidad de Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València.

Notes

The ambient temperature data used in this research have been obtained in the meteorological station installed on the university campus by the Spanish State Meteorological Agency (AEMET) and provided by the Environmental Unit of the Universitat Politècnica de València.

On the other hand, the use of a traditional gravel cover would imply interior temperature values below 22 °C, requiring energy input to achieve comfort temperature. In relation to the relative humidity of the green roof layers, it can be seen is also capable of storing a certain amount of water. This water, by evaporating at times of higher solar radiation and temperature, cools the surface of the substrate and reduces the exterior temperature of the roof.

After analysing the data and graphs provided, the thermal insulating behaviour of the substrate and its water storage capacity are confirmed, even with reduced thicknesses (15 cm). The contribution of inherent weight and construction cost of this extensive solution is close to the values for a traditional gravel cover, and its operation as a tool for controlling energy consumption is feasible by observing the temperature distribution on October 9. Sensor S1 was all the time within the indoor comfort temperature range. Therefore, despite not being a warm period with high solar radiation, times when a green roof works best, its thermal behaviour is adequate, allowing the building's energy consumption to be reduced.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Borràs JG, Lerma C, Mas A, Vercher J, Gil E. «Economic study of green roofs as a sustainable construction system.» *Proceedings of 5th International Scientific Conference on Economics and Management (EMAN)*, Ed. Association of Economists and Management of the Balkans, 427-433, (2021).
- Borràs JG, Mas A, Lerma C. «Green roof as a sustainable and energy efficient construction tool.» In *Case studies of building rehabilitation and design*, Ed. Springer, 13-27, (2021). ISBN: 978-3-030-71236-5.
- Britto C. «Análisis de la viabilidad y comportamiento energético de la cubierta plana ecológica.» Phd thesis. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, (2001), 891.
- Cascone S. «Green roof design: state of the art on technology and materials.» *Sustainability* 11 (2019): 3020.
- Ching FDK, Shapiro IM. «Arquitectura ecológica. Un manual ilustrado.» Ed. Gustavo Gili, (2015), 288. ISBN: 978-84-252-2744-8.
- Gobierno de Navarra. «Clasificación climática de Köpen.» <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>. Accessed 28 Oct 2021.
- IDAE. «Guía técnica para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios. Soluciones con aislamiento de poliuretano.» IDAE, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Gobierno de España, (2007), 58.
- Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030. «Objetivos de desarrollo sostenibles.» Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030, Gobierno de España. <https://www.agenda2030.gob.es/objetivos/home.htm>. Accessed 28 Oct 2021.
- Ministerio de Fomento. «DB-HE Ahorro de energía.» Ministerio de Fomento, Gobierno de España, (2019), 54.
- Ministerio de Fomento. «DB-HE Ahorro de energía.» Ministerio de Fomento, Gobierno de España, (2006), 129.
- Morales JD. «Proyecto arquitectónico de máxima eficiencia energética.» Ed. Coordinación Editorial de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, (2019), 158. ISBN: 978-607-30-1515-8.
- Perfect Prime. «PerfectPrime TH1165 USB Temperature/Humidity Data logger.» https://perfectprime.com/products/th1165?_pos=16&_sid=99ca056f7&_ss=r&variant=12174459404363. Accessed 28 Oct 2021.
- Simmons MT, Gardiner B, Windhager S, Tinsley J. «Green roof are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate.» *Urban Ecosystems* 11 (2008): 339-348.
- Van Mechelen C, Dutoit T, Hermy M. «Vegetation development on different extensive green roof types in a Mediterranean and temperate maritime climate.» *Ecological Engineering* 82 (2015): 571-582.
- Wong NH, Chen Y, Ong CL, Sia A. «Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment.» *Building and Environment* 38 (2003): 261-270.

**SISTEMA DI SUPPORTO DECISIONALE BASATO SUI DATI PER
DETERMINARE LA STRATEGIA DI RISTRUTTURAZIONE DEGLI EDIFICI**

**DATA DRIVEN DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SELECTING BUILDING
RETROFIT STRATEGY**

Ania Khodabakhshian

*Dottorando nel Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente costruito; Politecnico di Milano; via Ponzio 31, 20133 Milano, Italia. Construction Manager, E-mail: ania.khodabakhshian@polimi.it
Ph.D. candidate in the Department of Architecture, Built environment and Construction engineering; Politecnico di Milano, Construction Manager. E-mail: ania.khodabakhshian@polimi.it*

Luca Rampini

*Dottorando nel Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente costruito; Politecnico di Milano; via Ponzio 31, 20133 Milano, Italia. Ingegnere civile. E-mail: luca.rampini@polimi.it
Ph.D. candidate in the Department of Architecture, Built environment and Construction engineering; Politecnico di Milano, Civil Engineer. E-mail: luca.rampini@polimi.it*

Fulvio Re Cecconi

*Professore Associato di Produzione Edilizia nel Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente costruito; Politecnico di Milano; via Ponzio 31, 20133 Milano, Italia. Dottore di Ricerca in Ingegneria Edile, Ingegnere civile. E-mail: fulvio.rececconi@polimi.it
Associate Professor in Building Production in the Department of Architecture, Built environment and Construction engineering; Politecnico di Milano, Ph.D. in Building Engineering, Civil Engineer. E-mail: fulvio.rececconi@polimi.it*

Abstract

The building sector in EU countries is primarily comprised of outdated and inefficient structures, which are of high energy consumption and seismic vulnerability. As a result, building retrofit is being stressed as a viable option for addressing existing energy and seismic issues in the construction industry, particularly in residential properties. For this purpose, strategic decisions should be made about the retrofit strategies, which require great time, effort, resources, and expertise. While traditional case-based retrofit scenarios fail to provide rapid and objective solutions, data-driven methods such as Artificial Intelligence (AI) technologies can serve as an effective and efficient decision support system for selecting retrofit strategies.

This research offers a clustering of residential properties in the CENED database (Lombardia 2007)(comprising over 1 million energy labels of residential properties), based on the construction year and U-value. These clusters are associated with the type of material and building technique using the National scientific report on the TABULA activities (Corrado, Ballarini, and Corgnati 2012), and the probability distribution of EHP values. Therefore considering a given U-value and an energy class, the most optimum retrofit strategy is suggested to obtain a particular energy label. This research benefits from AI technologies to enhance strategic decision-making for building retrofit by connecting the current dispersed databases. It also helps increase energy-saving on an urban level.

Keywords

Building Retrofit, Artificial Intelligence, Clustering, Energy saving, Decision Support Systems

Introduzione e background

L'Europa detiene un patrimonio edilizio storico che necessita di una ristrutturazione massiccia. (Itard, L., Meijer, F., Vrans, E., Hoiting 2008). Il settore delle costruzioni rappresenta quasi il 40% e il 36% del consumo totale di energia e delle emissioni di CO₂ nell'UE (EU-Energy 2018). Di conseguenza, affinché l'UE raggiunga i suoi obiettivi di decarbonizzazione entro il 2050, il retrofit energetico degli edifici viene proposto come approccio praticabile per affrontare i problemi del settore edilizio da parte dell'UE (Seghezzi e Maserà 2017). Pertanto, nella transizione in corso verso città a basse emissioni di carbonio, gli strumenti per assistere i governi locali nella promozione di misure di retrofit economicamente efficaci per le strutture esistenti sono fondamentali (Delmastro, Mutani, e Corgnati 2016). Gli edifici residenziali rappresentano fino all'85% della superficie del parco edilizio dell'UE e sono in media estremamente vecchi nella maggior parte delle nazioni europee; quindi, le politiche energetiche hanno un'importanza significativa in questo tipo di edifici. Nella maggior parte delle nazioni dell'UE, la metà del parco immobiliare è stato costruito precedentemente alle prime norme termiche, cioè prima del 1970. Pertanto, la politica Green dell'EU incoraggia l'adeguamento energetico degli edifici esistenti, con l'obiettivo di raddoppiare gli attuali tassi di ristrutturazione negli edifici pubblici e privati (Commissione Europea 2019). La situazione è critica in Italia per quanto riguarda le scarse prestazioni energetiche, data l'età media del patrimonio edilizio residenziale (il 49% delle abitazioni ha più di 50 anni, contro il 35% in Europa (Di Pilla et al. 2016)). Una delle strategie più importanti per realizzare gli obiettivi di sostenibilità dell'ambiente costruito è il Building Retrofit. Il processo di apportare modifiche operative o fisiche a un edificio, ai suoi sistemi che consumano energia o al comportamento dei suoi occupanti per ridurre il consumo energetico è noto come Retrofit energetico (Jafari e Valentin 2018). Il consorzio del progetto UE ZEBRA2020 (ZEBRA2020 2020) stima che la domanda finale di energia per il riscaldamento di un edificio può essere abbassata dal 50 all'80% con notevoli aggiornamenti (intervallo che dipende dal paese e definito dagli esperti nazionali in base all'attuale efficienza del parco immobiliare). Il retrofit dell'involucro dell'edificio e degli impianti termici può ridurre il consumo di energia e i costi operativi associati in modo significativo, pur causando ulteriori costi di investimento (Lohse, Staller, e Riel 2016). A parte l'efficienza energetica, ulteriori fattori che guidano la riabilitazione e il retrofitting degli edifici includono la sicurezza antincendio, le preoccupazioni sismiche, il comfort interno e l'estetica esterna. Il retrofit degli edifici esistenti, oltre a ridurre il consumo energetico dell'edificio e l'impronta di carbonio, offre una significativa opportunità di aumentare il comfort e il benessere degli occupanti, riducendo al contempo il consumo energetico mondiale e le emissioni di gas serra (Xu, Loftness e Severnini 2021). A causa della mancanza di informazioni e della complessità dei compiti, i progetti di retrofit sono spesso caratterizzati da significativi gradi di incertezza e rischio (Juan 2009). Inoltre, il processo decisionale contiene una varietà di interessi contrastanti, come i compiti sociali e legati al patrimonio, i limiti degli investimenti finanziari e le preoccupazioni ambientali (Nair, Gustavsson e Mahapatra 2010). Pertanto, gli strumenti di supporto decisionale sono molto utili per aiutare progettisti, investitori e politici a scegliere la soluzione di retrofit più redditizia ed efficiente. Gli strumenti di supporto decisionale per il retrofit usati in precedenza possono essere classificati in termini di tipo di edificio (residenziale o di servizio; rinnovato o nuovo) e dei loro scopi principali (economici e ambientali) (J. Ferreira, Pinheiro, e Brito 2013). Inoltre, possono essere raggruppati in uno dei gruppi a) metodi generali; b) miglioramento delle prestazioni energetiche e/o delle emissioni di CO₂; c) analisi puramente economica; d) metodi LCA; e) metodi di valutazione sostenibile (Kolokotsa, et al. 2009). Tuttavia, la maggior parte di questi metodi sono implementati su studi di casi singoli. Quindi, sono focalizzati sulle complessità intrinseche e gli aspetti tecnici del problema piuttosto che applicati a enormi database. Questa ricerca mira a utilizzare l'Intelligenza Artificiale e gli open data per sviluppare un sistema di supporto decisionale guidato dai dati, raggruppando gli edifici residenziali della Lombardia in base alle loro metriche energetiche e al periodo di costruzione. Questo modello distinguerà la tecnologia degli edifici, i materiali e la strategia di retrofit per raggiungere un particolare cluster più efficiente dal punto di vista energetico.

Introduction and Background

Europe is a consolidated continent in need of massive refurbishments. (Itard, L., Meijer, F., Vrins, E., Hoiting 2008). The construction sector accounts for nearly 40% and 36% of total energy consumption and CO₂ emissions in the EU (EU-Energy 2018). As a result, in order for the EU to meet its decarbonization targets by 2050, building retrofit is being emphasized as a viable approach to address building sector issues by the EU (Seghezzi and Masera 2017). Therefore, in the ongoing transition to low-carbon cities, tools to assist local governments for the promotion of cost-effective retrofit measures for existing structures are crucial (Delmastro, Mutani, and Corgnati 2016).

Residential buildings represent for up to 85% of the EU building stock floor area and are on average extremely old in most European nations; hence, energy policies are of significant importance in this type of building. In most EU nations, half of the housing stock was constructed before to the first thermal rules, i.e. prior to 1970. Therefore, The EU green accord encourages energy retrofitting of existing buildings, with the goal of doubling present rates of renovation in public and private buildings (European Commission 2019). The situation is critical in Italy regarding poor energy performance, given the average age of the residential building stock in Italy (49 percent of dwellings are over 50 years old, compared to 35 percent in Europe) (Di Pilla et al. 2016).

One of the most important strategies for accomplishing built-environment sustainability and resilience goals is Building Retrofit. The process of making operational or physical changes to a building, its energy-consuming systems, or the behavior of its occupants to reduce energy consumption is known as Energy Retrofit (Jafari and Valentin 2018). The ZEBRA2020 EU project consortium (ZEBRA2020 2020) estimates that a building's final energy demand for heating can be lowered by 50 to 80 percent with considerable upgrades (range depending on the country and defined by national experts according to the current efficiency of the building stock).

Retrofitting the building envelope and thermal plants can reduce energy consumption and associated operating costs significantly, although causing additional investment costs (Lohse, Staller, and Riel 2016). Aside from energy efficiency, additional factors driving building rehabilitation and retrofitting include fire safety, seismic concerns, indoor comfort, and outside aesthetics. Retrofitting existing buildings, in addition to reducing building energy consumption and carbon footprints, provides significant opportunity to increase occupant comfort and well-being while also reducing world energy consumption and greenhouse gas emissions (Xu, Loftness, and Severnini 2021).

Due to a lack of information and the complexity of the tasks, retrofit projects are frequently marked by significant degrees of uncertainty and risk (Juan 2009). Moreover, the decision-making process contains a variety of competing interests, such as social and heritage-related tasks, financial investment limits, and environmental concerns (Nair, Gustavsson, and Mahapatra 2010). Therefore, decision-support tools are highly beneficial to help designers, investors and policymaker to choose the most profitable and efficient retrofit solution.

Previously used retrofit decision support tools can be classified in terms of type of building (residential or service; refurbished or new) and their principle purposes (economic and environmental) (J. Ferreira, Pinheiro, and Brito 2013). Moreover, they can be grouped in one of the a) general methods; b) improve energy and/or CO₂ emission performance; c) purely economic analysis; d) LCA methods; e) sustainable assessment methods groups (Kolokotsa, D., Diakaki, C., Grigoroudis, E., Stavrakakis, G., Kalaitzakis 2009). However, most of these methods are implemented on single case studies. Hence, they are engaged with the intrinsic complexities and technical aspects of the problem and are not applicable for huge databases.

This research aims to use Artificial Intelligence and open data to develop a data-driven decision support system, clustering the residential buildings in Lombardia region based on their energy metrics and construction period. This model will distinguish building technology, materials, and the retrofit strategy to reach a particular more energy-efficient cluster.

Metodi e strumenti

Quando si lavora con enormi patrimoni edilizi e database, il processo di identificazione e selezione di proprietà con caratteristiche simili può essere automatizzato da tecniche di clustering, un sottoinsieme del Machine Learning. Il clustering cerca di organizzare una collezione di elementi in cluster con elementi abbastanza simili da dedurre che siano dello stesso tipo, ed elementi in cluster separati abbastanza diversi da dedurre che siano di tipi diversi (Pfitzner, Leibbrandt, and Powers 2009). Quando gli algoritmi di clustering sono usati per raggruppare edifici con caratteristiche tecnologiche note, possono essere identificati proprietà simili di tecnologia edilizia e prestazioni energetiche.

Questo studio implementa la tecnica di clustering sul database CENED (sito) predisposto dalla Regione Lombardia ed affidato al Centro per lo Sviluppo Tecnologico, l'Energia e la Competitività (CESTEC). Questo database liberamente accessibile contiene informazioni sulle prestazioni energetiche degli edifici (energia primaria e netta), sulle informazioni geometriche (volume, superficie lorda e netta, superficie delle finestre e così via) e sulle tecnologie installate (in primis la trasmittanza termica media dei componenti edilizi e le informazioni sull'efficienza globale degli impianti termici) (Re Cecconi, Moretti, and Tagliabue 2019).

Dato il grande numero di edifici presente nel database, è possibile localizzare proprietà che sono state costruite in un determinato periodo storico con tecnologie quasi simili. Queste proprietà possono essere o nel loro stato originale o con prestazioni energetiche molto buone dovute al retrofit energetico. Per gli edifici che sono ancora nel loro stato originale, è ragionevole assumere che un adeguamento energetico porterà a prestazioni energetiche simili a quelle riscontrate negli edifici dello stesso periodo già ristrutturati, che possono essere identificati da una migliore classe energetica.

I cluster sono stati calcolati utilizzando il modello Gaussian mixture partitional (GMM). Il metodo GMM utilizza un insieme di distribuzioni normali multivariate per modellare la densità di probabilità di uno spazio numerico. L'apprendimento supervisionato di dati multimediali e il riconoscimento di modelli sono applicazioni degli algoritmi GMM (Crouse et al. 2011).

Dopo la pulizia dei dati, sono rimasti 956.143 record dagli iniziali 1,52 milioni di record del database. Le proprietà residenziali nel database sono comprese tra otto diverse classi energetiche: A+, A, B, C, D, E, F, G. Inoltre, gli intervalli degli anni di costruzione sono: "Prima del 1930", "1930-1945", "1946-1960", "1961-1976", "1977-1992", "1993-2006" e "Dopo il 2006". Ogni record è una classe energetica descritta da 45 parametri, i più rilevanti dei quali sono: la classe della domanda energetica, la superficie lorda e netta riscaldata, il volume lordo e netto, la superficie dell'involucro, il rapporto tra superficie opaca e trasparente dell'involucro, la trasmittanza termica media di pareti, finestre e tetto e l'EPH. La figura 1 presenta lo schema di ricerca per le fasi attuali e future.

Risultati

I dati appartenenti al database CENED sono divisi in 56 gruppi secondo le sette classi di anno di costruzione (YoC) e le otto etichette energetiche (EL). Per ogni coppia di YoC e EL sono state calcolate la media e la deviazione standard di alcune features del DB (trasmittanza termica media dei muri U_{walls} , delle finestre U_{win} e dei tetti U_{roofs}) per eliminare gli outliers. La Figura 2 mostra la heatmap del numero di record in ogni gruppo caratterizzato da un YoC e un EL in Regione Lombardia. Come risulta dalla Figura 1, la densità di edifici con EL "G" è più alta prima del 1976, appena prima della prima legge italiana sul rendimento energetico degli edifici. Nel 1976, subito dopo la crisi petrolifera, è stata pubblicata in Italia la prima legge per ridurre la domanda energetica degli edifici. La legislazione governativa più recente è stata invece adottata nel 1992 e nel 2006.

Methods and tools

When working with huge portfolios and databases, the process of identifying and selecting properties with similar characteristics can be automated by Clustering techniques, a subset of machine learning. As a data mining and pattern detection tool, clustering seeks to organize a collection of items into clusters with items similar enough to infer they are of the same type, and items in separate clusters unlike enough to infer they are of different types (Pfitzner, Leibbrandt, and Powers 2009). When clustering algorithms are used to a portfolio of properties with known technological features, groups (clusters) of identical properties in terms of building technology and energy performance can be identified.

This study implements the clustering technique on the CENED database (site) prepared by Lombardia Region entrusted to a public own company, the Centre for Technological Development, Energy and Competitiveness (CESTEC). This open database contains information on building energy performance (primary and net energy), geometric information (volume, gross and net surface, windows area, and so on), and installed technologies (primarily the average thermal transmittance of building components and information on thermal plants' global efficiency) (Re Cecconi, Moretti, and Tagliabue 2019).

Since the number of buildings to be analyzed in the database is great, it is possible to locate properties that were contemporaneously constructed with nearly similar technologies. These properties can be either in their original state or with very good energy performance due to energy retrofitting. For the former, assets that are still in their original state, it is reasonable to assume that an energy retrofit will result in similar energy performance to those built at a similar time period but already retrofitted, which can be identified by better energy label.

The clusters were computed using the Gaussian mixture partitional model (GMM) in this study. GMM uses a mixture of multivariate normal distributions to model the probability density of a numeric space. Supervised learning of multimedia data and pattern recognition are applications of GMM algorithms (Crouse et al. 2011).

After data cleaning, 956,143 records remained from the initial 1.52 million records in the database. Residential properties in the DB are among eight different energy labels: A+, A, B, C, D, E, F, G. Moreover, the construction year intervals are: "Before 1930", "1930-1945", "1946-1960", "1961-1976", "1977-1992", "1993-2006" and "After 2006". Each record is an energy label described by 45 parameters, the most relevant of which are: the energy demand label, the gross and net heated surface, the gross and net volume, the envelope surface, the ratio between opaque and transparent envelope surface, the average walls, windows, and roof thermal transmittance and the EPH. Figure 1 present the research scheme for current and future steps.

Result

Records on CENED DB are divided into 56 groups according to the seven classes of year of construction (YoC) and the eight energy labels (EL). For each couple of YoC and EL the mean and the standard deviation of some columns of the DB (average thermal transmittance of walls U_{walls} , windows U_{win} and roofs U_{roofs}) have been computed to delete outliers. Figure 1 shows the heatmap of the number of records in each group characterized by a YoC and an EL in Lombardia Region. As apparent in the Figure 2, the density of buildings with "G" EL is highest before 1976, just before the first Italian Law on the energy performance of buildings. In 1976, just after the petroleum crisis, the first Law to lower buildings' energy demand was published in Italy. Most recent government legislation was adopted in 1992 and 2006.

I dati di ciascuno dei 56 gruppi identificati dalle classi YoC e EL sono stati raggruppati utilizzando tre colonne del CENED DB: a) trasmittanza media delle pareti (U_{wall}); b) trasmittanza media delle finestre (U_{window}) e c) trasmittanza media dei tetti (U_{roof}). Pertanto, gli elementi di un cluster saranno proprietà residenziali costruite nello stesso periodo di tempo, con la stessa classe energetica, cioè con un consumo energetico simile, e con i componenti dell'involucro edilizio che hanno una trasmittanza simile. È ragionevole presumere che tutte le proprietà di un cluster siano state costruite utilizzando le stesse tecnologie edilizie. La Figura 3 mostra i gruppi di pareti degli edifici costruiti prima del 1930 per due EL. In seguito al processo di clustering, un numero intero è stato assegnato a ciascuno dei cluster relativi ai tre componenti dell'involucro: C_{Uwalls} per i cluster delle pareti, $C_{Uwindows}$ per i cluster delle finestre e C_{Uroofs} per i cluster dei tetti come identificatore del cluster:

$I = \{C_{Uwalls}, C_{Uwindows}, C_{Uroofs}\}$; Dove: I è l'identificatore associato ad ogni record

Il valore "I" è stato usato per associarlo al database TABULA per trovare i materiali da costruzione con i valori U più vicini. La figura 4 mostra un campione di materiali e tecnologie edilizie Roof in base ai loro valori U. Pertanto, per raggiungere una migliore classe energetica, fine ultimo della ristrutturazione, possiamo facilmente associare i valori U attuali del cluster dato di parete, tetto e finestra con TABULA per identificare i materiali attuali. Inoltre, ripetendo lo stesso processo con i valori U del cluster di destinazione di parete, tetto e finestra, con una classe energetica migliore e lo stesso periodo di costruzione, si identificano i materiali edilizi di destinazione. Si può logicamente concludere che le proprietà nello stesso periodo di costruzione con classi energetiche migliori sono state ristrutturate. Pertanto, per ottenere una migliore classe energetica, possiamo confrontare i materiali e le tecnologie di costruzione dei cluster attuali e di quelli di destinazione per identificare la strategia di ristrutturazione dell'edificio. La figura 5 presenta lo schema di questo processo per gli edifici costruiti prima del 1930. La tabella 1 presenta alcuni dei cluster di edifici costruiti tra il 1960-1975 con EL "G" e "A+" e i loro materiali da costruzione associati.

Discussioni e conclusione

I risultati indicano che questo metodo può essere applicato alla maggior parte delle proprietà residenziali nella regione Lombardia. Inoltre, una precisa e completa lista di tecnologie e materiali da costruzione può essere ottenuta facendo riferimento al progetto TABULA. Quindi per ogni dato record nel DB, diverse strategie di ristrutturazione possono essere proposte in base alla classe energetica da raggiungere. Lo scopo di questo studio di ricerca è la presentazione della metodologia; tuttavia, sono necessari passi futuri per la sua implementazione pratica. Se da un lato è chiaro che migliorare le prestazioni energetiche di tutti gli edifici in analisi al fine di raggiungere i recenti obiettivi di decarbonizzazione dell'UE per l'ambiente costruito sarebbe ottimale, dall'altro è comprensibile che questo non può essere fatto senza considerare i costi. Infatti, nel DB ci sono proprietà su cui non sarebbe saggio investire denaro per un retrofit energetico perché il risparmio sarebbe troppo basso. Pertanto, come direzione futura, questa ricerca contribuisce a definire un criterio per decidere su quali beni intervenire e quali no in base al Return on Investment tenendo conto di budget limitato. In conclusione:

- L'applicazione di metodi di IA può essere molto utile per il processo decisionale di retrofit degli edifici basato su database nazionali.
- I metodi di clustering offrono una valutazione più precisa delle attuali prestazioni energetiche degli immobili residenziali per quanto riguarda il valore U dei componenti dell'edificio.
- Come un fatto logico, l'adeguamento energetico è condotto per ottenere una migliore classe energetica. Quindi, per un particolare periodo di costruzione, conoscere i valori U medi dei cluster può essere utile per identificare le strategie di retrofit. A questo scopo, le tecnologie edilizie e i materiali associati ad ogni valore U sono identificati con riferimento al progetto TABULA.
- Questa ricerca offre un quadro pratico e guidato dai dati per la previsione automatica delle strategie di retrofit per le proprietà residenziali nella regione Lombardia.

Records on each of the 56 groups identified by YoC and EL classes were clustered using three CENED DB columns: a) average walls transmittance (Uwall); b) average windows transmittance (Uwindow) and c) average roofs transmittance (Uroof). Therefore, the elements of a cluster will be residential properties built in the same time period, with the same energy label, i.e., similar energy consumption, and with the components of the building envelope having similar transmittance. It is reasonable to presume that all of a cluster's properties were built using the same building technologies. Figure 3 depicts the wall clusters of the buildings constructed before 1930 for two ELs.

Following the clustering process, an integer number was assigned to each one of the clusters relating to the three envelope components: C_Uwalls for walls' clusters, C_Uwindows for windows' clusters and C_Uroofs for roofs' clusters as the identifier of the cluster:

$I = \{C_Uwalls, C_Uwindows, C_Uroofs\}$; Where: I is the identifier associated with each record

“I” value was used to associate with the TABULA Database to find the building materials with the closest U values. Figure 4 shows a sample of Roof building materials and technologies based on their U values. Therefore, to reach a better energy label, which is the purpose of the retrofit process, we can easily match the given cluster's current U values of wall, roof, and window with the TABULA to identify the current materials. Moreover, we repeat the same process with the target cluster's U values of wall, roof, and window, with a better energy label and the same construction period, to identify the target building materials. It can be logically concluded that the properties in the same construction period with better energy labels have been retrofitted. Therefore, to achieve a better energy label, we can compare the materials and building technologies of the current and target clusters to identify the building retrofit strategy. Figure 5 presents the scheme for this process for building built before 1930. For systematic registration, an Excel spreadsheet was used. Table 1 presents some of the clusters of buildings constructed between 1960-1975 with “G” and “A+” ELs and their associated building materials.

Discussions and conclusion

The results indicate that this framework can be applied to the majority of the residential properties in the Lombardia region. Moreover, a precise and comprehensive building technology and materials list can be obtained referred to the TABULA. Therefore for each given record in the DB, several retrofit strategies can be proposed based on the target energy label to achieve. The scope of this research study is presenting the proposed framework; however, future steps are required for practical implementation of it. While it is clear that it would be optimal to improve the energy performance of all the buildings under analysis in order to achieve recent EU decarbonization targets for the built environment, it is also clear that this cannot be done without considering the costs involved. Moreover, there are properties in the DB on which it would be unwise to invest money for an energy retrofit because the savings would be too low; consequently, CO₂ emissions would be decreased. Therefore, as a future direction, this research will continue to define a criterion is to decide on which assets to intervene and which not based on the Return on Investment in a limited budget scenario.

In conclusion:

- The application of AI methods can be highly beneficial for building retrofit decision-making based on national databases.
- Clustering methods offer a more precise assessment of the residential properties' current energy performance regarding the U value of building components.
- As a logical fact, energy retrofit is conducted to achieve a better Energy Label. Therefore, for a particular construction period, knowing the average cluster U values can be instrumental in identifying the retrofit strategies. For this purpose, the building technologies and materials associated with each U value are identified referred to the TABULA.
- This research offers a practical and data-driven framework for the automatic prediction of retrofit strategies for residential properties in the Lombardia region.

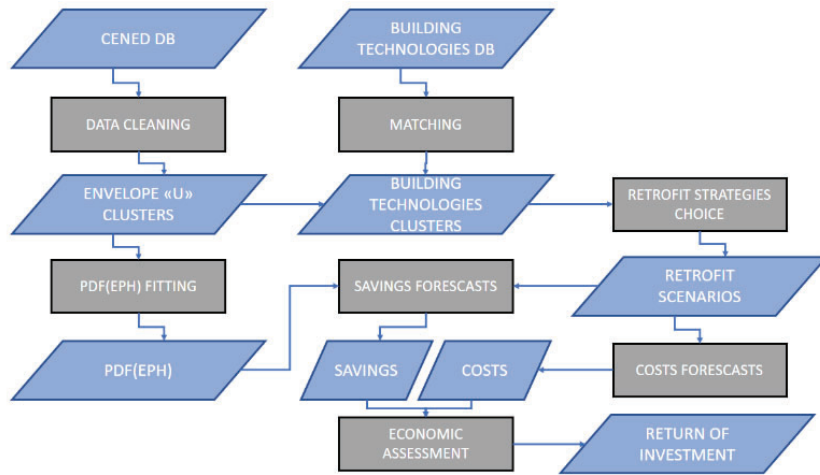


Figura 1 Scheme della ricerca
Figure 1 Research scheme

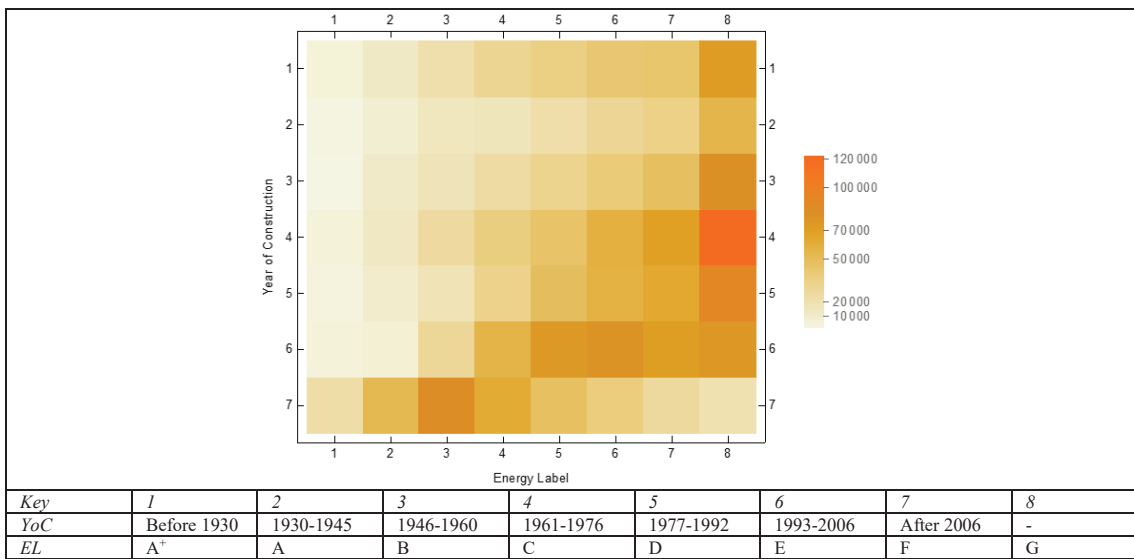


Figura 2 Numero di asset residenziali nel DB CENED secondo YoC e EL
Figure 2 Number of residential assets in the CENED DB according to YoC and EL

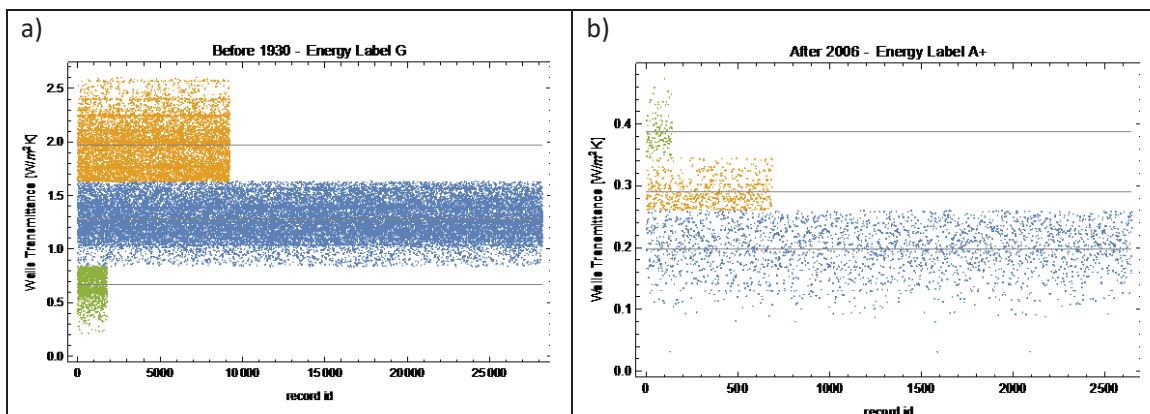


Figura 3 Clusterizzazione del dataset in base alla trasmittanza dei componenti dell'involucro: a) grappoli di trasmittanza muraria media dei cespiti costruiti prima del 1930 ed etichettati G; b) grappoli di trasmittanza muraria media di cespiti costruiti prima del 1930 ed etichettati A+.

Figure 3 Clusterization of the dataset according to envelope components transmittance: a) average walls transmittance clusters of assets built before 1930 and labelled G; b) average walls transmittance clusters of assets built before 1930 and labelled A+.







ROOFS				
DESCRIPTION		PERIOD		U [W/(m ² K)]
		from	to	
	Pitched roof with wood structure and planking	-	1950	1.80
	Pitched roof with brick-concrete slab	1930	1975	2.20
	Flat roof with reinforced brick-concrete slab	1930	1975	1.85
	Pitched roof with wood structure and planking, low insulation	1976	1990	0.95
	Pitched roof with brick-concrete slab, low insulation	1976	1990	1.14
	Flat roof with reinforced brick-concrete slab, low insulation	1976	1990	1.01

Figura 4. Materiali e tecnologie da costruzione associati a ciascun periodo di costruzione e valore U dei tetti nel database TABULA (Corrado, Ballarini, and Corgnati 2012)
 Figure 4. Building materials and technologies associated with each construction time period and U value of roofs in the TABULA database (Corrado, Ballarini, and Corgnati 2012)

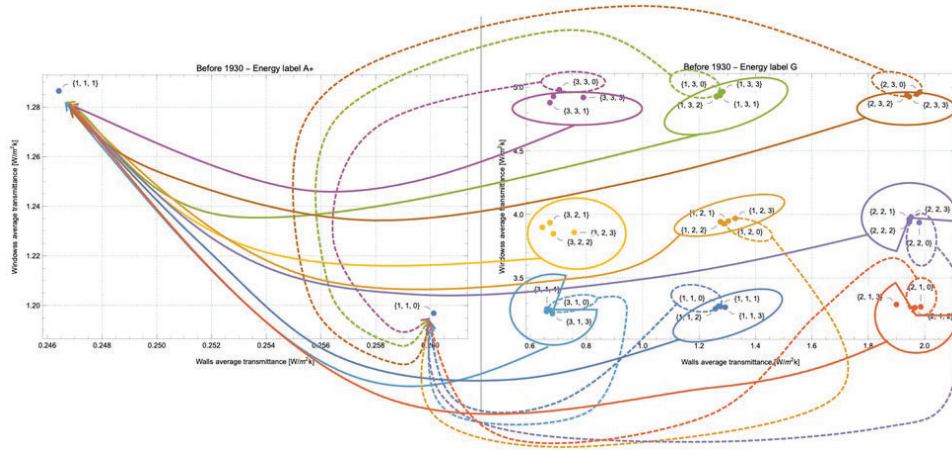


Figura 5 Ad ogni cluster di ciascuno dei 56 gruppi identificati dall'YC (Prima del 1930 in figura) e dall'EL può essere associato un cluster di un gruppo con lo stesso YoC ma un EL migliore per simulare un retrofit energetico. In figura i cluster di record costruiti prima del 1930 e con EL "G" (lato destro) sono associati ai cluster dello stesso YoC ma con etichetta energetica "A+" (lato sinistro della figura), linee continue per asset con tetti e linee tratteggiate per i beni senza tetto.
 Figure 5 Every cluster of each one of the 56 groups identified by the YoC (Before 1930 in the figure) and the EL may be associated with a cluster of a group with the same YoC but a better EL to simulate an energy retrofit. In figure clusters of records built before 1930 and with EL "G" (right side) are associated to clusters of the same YoC but with energy label "A+" (left side of the figure), solid lines for assets with roofs and dashed lines for assets without roofs.

Table 1. Building materials of each cluster in "G", "A", and "A+" ELs and YoC 1960-1975

Table 1. Building materials of each cluster in "G", "A", and "A+" ELs and YoC 1960-1975

	Wall Cluster	U-Wall [W/Km ²]	Wall Material	Window Cluster	U-Window [W/Km ²]	Window Material	Roof Cluster	U-Roof [W/Km ²]	Roof Material
Energy Label G	1	1.27	Hollow brick masonry (40) / Hollow wall brick masonry with solid and hollow bricks (40 cm)	1	3.26	Double glass, air filled, metal frame with thermal break	1	1.49	Pitched roof with wood structure and planking
	2	1.97	Stone masonry with plaster on both sides (60 cm)	2	3.93	Double glass, air filled, metal frame without thermal break	2	0.69	Flat roof with reinforced brick-concrete slab, medium insulation
	3	0.66	Concrete masonry (also prefabricated, 18-20 cm), medium insulation	3	4.95	Single glass, wood frame	3	2.52	Pitched roof with brick-concrete slab
Energy Label A	2	0.70	Concrete masonry (also prefabricated, 18-20 cm), medium insulation	1	1.43	Low-e double glass, air or other gas filled, wood frame	1	0.27	Pitched roof with wood structure and planking, high insulation / Pitched roof with brick-concrete slab, high insulation / Flat roof with reinforced brick-concrete slab, high insulation
Energy Label A+	1	0.25	Hollow brick masonry (40 cm), medium insulation	1	1.26	Low-e double glass, air or other gas filled, wood frame	1	0.22	Pitched roof with wood structure and planking, high insulation / Pitched roof with brick-concrete slab, high insulation / Flat roof with reinforced brick-concrete slab, high insulation

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Corrado, Vincenzo, Ilaria Ballarini, and Stefano Paolo Corgnati. 2012. *Typology Approach for Building Stock: National Scientific Report on the TABULA Activities in Italy*.
- Crouse, David F., Peter Willett, Krishna Pattipati, and Lennart Svensson. 2011. “A Look at Gaussian Mixture Reduction Algorithms.” *Fusion 2011 - 14th International Conference on Information Fusion* (May 2014).
- Delmastro, Chiara, Guglielmina Mutani, and Stefano Paolo Corgnati. 2016. “A Supporting Method for Selecting Cost-Optimal Energy Retrofit Policies for Residential Buildings at the Urban Scale.” *Energy Policy* 99: 42–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.09.051>.
- EU-Energy. 2018. *Energy for Europe by European Commission*.
- European Commission. 2019. “Building and Renovating: The European Green Deal.” (December): 1–10.
- Ferreira, Joaquim, Manuel Duarte Pinheiro, and Jorge de Brito. 2013. “Refurbishment Decision Support Tools Review-Energy and Life Cycle as Key Aspects to Sustainable Refurbishment Projects.” *Energy Policy* 62: 1453–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.082>.
- Itard, L., Meijer, F., Vriens, E., Hoiting, H. 2008. *Building Renovation and Mod-Ernisation in Europe : State of the Art Review*.
- Jafari, Amirhosein, and Vanessa Valentin. 2018. “Proposing a Conceptual Decision Support System for Building Energy Retrofits Considering Sustainable Triple Bottom Line Criteria.” In *Construction Research Congress 2018: Sustainable Design and Construction and Education - Selected Papers from the Construction Research Congress 2018*, , 553–63.
- Juan, Yi Kai. 2009. “A Hybrid Approach Using Data Envelopment Analysis and Case-Based Reasoning for Housing Refurbishment Contractors Selection and Performance Improvement.” *Expert Systems with Applications* 36(3 PART 1): 5702–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2008.06.053>.
- Kolokotsa, D., Diakaki, C., Grigoroudis, E., Stavrakakis, G., Kalaitzakis, K. 2009. “Decision Support Meth-Odologies on the Energy Efficiency and Energy Manage-Ment in Buildings.” *Advances in Building Energy Research* 3: 121–146.
- Lohse, Rüdiger, Heimo Staller, and Martina Riel. 2016. “The Economic Challenges of Deep Energy Renovation - Differences, Similarities, and Possible Solutions in Central Europe: Austria and Germany.” In *ASHRAE Conference-Papers*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 69–87.
- Lombardia, Regione. 2007. “Database CENED+2 - Certificazione ENergetica Degli EDifici.” *Open Data Regione Lombardia*. <https://www.dati.lombardia.it/Energia/CENED-Certificazione-ENergetica-degli-EDifici/rsg3-xhvk> (December 6, 2021).
- Nair, Gireesh, Leif Gustavsson, and Krushna Mahapatra. 2010. “Factors Influencing Energy Efficiency Investments in Existing Swedish Residential Buildings.” *Energy Policy* 38(6): 2956–63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.033>.
- Pfitzner, Darius, Richard Leibbrandt, and David Powers. 2009. “Characterization and Evaluation of Similarity Measures for Pairs of Clusterings.” *Knowledge and Information Systems* 19(3): 361–94.
- Di Pilla, L. et al. 2016. “Optimizing the Distribution of Italian Building Energy Retrofit Incentives with Linear Programming.” *Energy and Buildings* 112: 21–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.050>.
- Re Cecconi, F, N Moretti, and L C Tagliabue. 2019. “Application of Artificial Neural Network and Geographic Information System to Evaluate Retrofit Potential in Public School Buildings.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 110(December 2018): 266–77. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.073>.
- Seghezzi, Elena, and Gabriele Masera. 2017. “Identification of Technological and Installation-Related Parameters for a Multi-Criteria Approach to Building Retrofit.” In *Procedia Engineering*, The Author(s), 1056–64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.265>.
- Xu, Yujie, Vivian Loftness, and Edson Severnini. 2021. “Using Machine Learning to Predict Retrofit Effects for a Commercial Building Portfolio.” *Energies* 14(14): 1–24.
- ZEBRA2020. 2020. “Nearly Zero-Energy Building Strategy 2020 EU Project No 675834. (n.D.)” <https://zebra2020.eu/> (December 2, 2021).

¿QUÉ TECNOLOGÍAS DE ENERGÍAS RENOVABLES (TERs) SON APLICABLES A EDIFICIOS UNIVERSITARIOS EXISTENTES?

WHAT RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES (TERs) ARE APPLICABLE TO EXISTING UNIVERSITY BUILDINGS?

Joaquín Fuentes-del-Burgo

Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación; Universidad de Castilla-La Mancha; Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario S/N, 16071 Cuenca, Spain. Profesor Titular de Universidad, Doctor en Organización de Empresas por la UPV. E-mail: joaquin.fuentes@uclm.es

Department of Civil and Building Engineering; University of Castilla-La Mancha; Polytechnic School of Cuenca, Campus Universitario S/N, 16071 Cuenca, Spain. Senior Lecturer, Phd in Business Organization at UPV.

Elena Navarro-Astor

Departamento de Organización de Empresas. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesora Titular de Universidad. Doctora en Organización de Empresas por la UPV. E-mail: enavarro@omp.upv.es

Department of Business Organization. School of Building Engineering. Universitat Politècnica de València. Senior Lecturer. Phd in Business Organization at UPV.

Abstract

At a time when in Europe, and globally, efforts are being made to reduce fossil energy use, the energy consumption of many existing university buildings is high. Renewable energy technologies (RETs) could contribute to the reduction of such consumption or, at least, to produce energy at the same point where it is demanded, reducing transport-related losses. Europe 2020 strategy has fostered a series of policies and directives aimed at improving energy efficiency and reducing CO₂ emissions, including the built environment.

Through an exploratory study, 33 technicians who work in the infrastructure management offices of 24 Spanish and Portuguese universities were asked about the renewable energy technologies that can be applied to existing university buildings and the services that they can cover. In addition to identifying the technologies they consider most appropriate, the interviewees also indicate factors to be taken into account in their implementation. Thus, the technologies mentioned in order of applicability are: photovoltaic, solar thermal, geothermal, biomass, mini-wind, aerothermal and hydroelectric. The services to be covered would be domestic hot water supply, electricity supply, heating and air conditioning.

Keywords

Energy consumption, Renewable energy technologies, University buildings

Introducción

Muchos edificios públicos fueron diseñados y construidos sin considerar su consumo energético, por lo que en la actualidad generan un impacto negativo a la sostenibilidad social, ambiental y económica (Bertone *et al.* 2016, Ruparathna *et al.* 2016).

La mejora de la eficiencia energética de los edificios existentes de la administración pública puede ser un avance importante para reducir sus efectos medioambientales (Ruparathna *et al.* 2016). Entre ellos se incluyen numerosos edificios universitarios destinados a aulas, laboratorios, pabellones deportivos, residencias universitarias, etc., con un importante consumo de energía para fines tan diversos como iluminación, calefacción, ventilación, aire acondicionado y para el funcionamiento del equipamiento (Erhorn-Klutting 2017; Leal *et al.* 2019; Wadud *et al.* 2019). La instalación de tecnologías de energías renovables (TERs) puede considerarse como una medida de ahorro energético (Born *et al.* 2011; Cooke *et al.* 2007; Woo & Menassa 2012; Economidou *et al.* 2020).

En el marco de la Estrategia Europa 2020 (European Commission 2010), focalizando en las TERs en los edificios existentes de la universidad (Day, 2017), el objetivo de esta investigación es identificar los tipos de tecnologías que pueden implantarse en estos edificios. Para ello se han realizado entrevistas semiestructuradas a profesionales técnicos que trabajan en las oficinas de mantenimiento de las infraestructuras de universidades en España y en Portugal.

Metodología

Se ha desarrollado un estudio exploratorio, a través de entrevistas semi-estructuradas, para permitir a los participantes la libertad de dar sus opiniones y compartir sus experiencias (Ugulu 2019). La investigación trata de aportar información sobre el fenómeno de estudio basada en las experiencias de los técnicos que trabajan en las oficinas de gestión de las infraestructuras de las universidades de España y Portugal (Nasirov *et al.* 2015; Sommerfeld *et al.* 2017). Las citas se identifican con un número y las letras E (España) o P (Portugal) permiten conocer el país de origen (Cooke *et al.* 2007).

Las preguntas realizadas son las siguientes:

- ¿Cuáles son las TERs que podrían usarse en los edificios existentes de la universidad?
- ¿Qué servicios cree que podrían cubrirse con TERs?
- ¿Cuál es el grado de aplicación de TERs en los edificios del campus universitario?

Se ha entrevistado a un total de 33 técnicos de 24 universidades (30 españoles y 3 portugueses). Las entrevistas han sido presenciales en 9 universidades de España (Universidad de Castilla-La Mancha, U. Politécnica de Madrid, U. de Valencia, U. de Zaragoza, U. Jaume I, U. Carlos III de Madrid, U. de Córdoba, U. Politécnica de Valencia, U. Nacional a Distancia-Madrid) y telefónicas en 12 (Universidad de Oviedo, U. de Málaga, U. de Santiago de Compostela, U. de Vigo, U. de Cantabria, U. de Valladolid, U. Politécnica de Cataluña, CU Universidad Cardenal Herrera Oria, U. de Mondragón, U. de las Palmas de Gran Canaria, U. de la Coruña, U. de la Laguna (Tenerife)). En Portugal todas las entrevistas fueron presenciales (Universidad de Oporto, U. de Lisboa, Universidade Lusofona).

En la muestra 28 son hombres y 5 mujeres. En cuanto a su edad, el 21,2% está comprendida entre 30 y 39 años, el 33,3% entre 40 y 49 años, el 24,2% entre 50 y 59 años y el 21,2% entre 60 y 63 años. Respecto a los años de experiencia en el puesto, el 18,2% tiene menos de 5, el 30,3% entre 6 y 15, el 21,2% entre 16 y 25 y el 30,3% tiene más de 26 años.

Para el análisis se utilizó la propuesta de Creswell (2009), consistente en 6 pasos principales: organización y preparación de datos para el análisis, lectura de los datos repetidamente para obtener el sentido general de los datos, codificación, descripción del entorno, contextualización y localización de vínculos entre los temas y, finalmente, interpretación de datos. En todo el proceso de codificación e interpretación de los datos se empleó el programa ATLAS.ti v.8.0.

Introduction

Many publicly owned buildings were designed and built without considering their energy consumption, and therefore they currently have a negative impact on social, environmental and economic sustainability (Bertone *et al.* 2016, Ruparathna *et al.* 2016).

Improving the energy efficiency of existing public administration buildings can be an important step towards reducing their environmental impacts (Ruparathna *et al.* 2016). These include numerous university buildings for classrooms, laboratories, sports halls, university residences, etc., with significant energy consumption for purposes as diverse as lighting, heating, ventilation, air conditioning and equipment operation (Erhorn-Klutting 2017; Leal *et al.* 2019; Wadud *et al.* 2019). Reducing energy consumption by installing renewable energy technologies (RETs) can be considered an energy saving measure (Born *et al.* 2011; Cooke *et al.* 2007; Woo & Menassa 2012; Economidou *et al.* 2020).

Within the framework of the Europe 2020 Strategy (European Commission 2010), focusing on RETs in existing university buildings (Day, 2017), the aim of this research is to identify the type of technologies that can be implemented in these buildings. For this purpose, semi-structured interviews have been carried out with technical professionals who work in facilities maintenance offices of universities in Spain and Portugal.

Methods

An exploratory study has been developed, through semi-structured interviews, to allow participants the freedom to give their opinions and share their experiences (Ugulu 2019). The research seeks to provide information on the phenomenon under study based on the experiences of technicians working in the infrastructure management offices of universities in Spain and Portugal (Nasirov *et al.* 2015; Sommerfeld *et al.* 2017). Citations are identified by a number and the letters E (Spain) or P (Portugal) indicate the country of origin (Cooke *et al.* 2007).

The questions posed are the following:

- What are the RETs that could be used in existing university buildings?
- Which services do you think could be covered with RETs?
- What is the degree of application of RETs in the campus buildings?

A total of 33 technicians from 24 universities (30 Spanish and 3 Portuguese) were interviewed.

The interviews were face-to-face at 9 Spanish universities (University of Castilla-La Mancha, U. Politécnica of Madrid, U. of Valencia, U. of Zaragoza, U. Jaime I, U. Carlos III of Madrid, U. of Córdoba, U. Politécnica of Valencia, National Distance Learning U. -Madrid) and by telephone at 12 (Universidad of Oviedo, U. of Málaga, U. of Santiago de Compostela, U. of Vigo, U. of Cantabria, U. of Valladolid, U. Politécnica of Cataluña, CEU Universidad Cardenal Herrera Oria, U. of Mondragón, U. of las Palmas de Gran Canaria, U. of La Coruña, U. of La Laguna (Tenerife)). In Portugal all interviews were face-to-face (University of Porto, U. of Lisbon, Universidade Lusofona).

There are 28 men and 5 women in the sample. In terms of age, 21.2% are between 30 and 39 years old, 33.3% between 40 and 49, 24.2% between 50 and 59 and 21.2% between 60 and 63 years old. Regarding years of experience in the job, 18.2% have less than 5 years, 30.3% have between 6 and 15 years, 21.2% have between 16 and 25 years and 30.3% have more than 26 years.

Creswell's proposal (2009) was used for the analysis. It consists of six main steps: data organization and preparation for analysis, data reading repeatedly to get its general sense, coding, description of the environment, contextualization and location of links between topics, and, finally, data interpretation. The ATLAS.ti v.8.0 program was used throughout the data coding and interpretation process.

Resultados

1) TERs aplicables en edificios universitarios existentes

Las tecnologías identificadas, clasificadas en función del número de técnicos que las citan, son: fotovoltaica (27), solar térmica (15), geotermia (9), biomasa (6), minieólica (3), aerotermia (2) e hidroeléctrica (1). Aunque no puede ser considerada como una TER, la cogeneración es citada por cuatro entrevistados.

La mayoría de los participantes cita la fotovoltaica como la TER que más fácilmente puede implantarse en edificación existente, aunque son conscientes de que su aplicación conlleva dificultades. Para integrarla, proponen estudiar la sustitución de elementos de la envolvente por módulos fotovoltaicos. Por ejemplo, en el caso de una fachada ventilada con orientación Sur o Suroeste, sugieren emplear los módulos como cierres ventilados que producen electricidad. O en caso de existir lucernarios, plantean emplear módulos fotovoltaicos transparentes, consiguiendo resolver la iluminación natural y la producción de energía eléctrica.

En el caso de fachadas, otra opción propuesta es emplear los módulos como elementos de sombreado de los huecos. Además, se consigue reducir la insolación a través de los huecos en verano, disminuyendo la energía consumida en la climatización de los edificios.

Con la nueva legislación en materia de autoconsumo (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015), la aplicación de fotovoltaica permite tanto el autoconsumo como la venta de toda la producción. Pero dada la dificultad de las universidades públicas para convertirse en productores de energía, una opción es alquilar los espacios disponibles en la cubierta o en los aparcamientos, para que empresas privadas instalen los generadores fotovoltaicos (Imagen 1). Este tipo de acción supone un ingreso a las universidades que pueden utilizar para mejorar las medidas de eficiencia energética de sus edificios (Fuentes-del-Burgo et al. 2021).



Fuente / Source: Google.Earth.



Fuente: Elaboración propia. Source: Own elaboration.

Imagen 1. Ejemplo de instalación fotovoltaica en la Facultad de Letras de la Universidad de Lisboa
Image 1. Example of photovoltaic installation at the School of Arts and Humanities at University of Lisbon

Los participantes también hacen referencia al empleo de paneles solares híbridos como solución que permite la producción de agua caliente y energía eléctrica, consiguiendo un rendimiento global elevado y la optimización en el uso del espacio disponible (Yang et al. 2012).

En cuanto a la instalación solar térmica la opinión no es unánime ni compartida. Varios plantean que estas instalaciones carecen de sentido si el consumo de agua caliente sanitaria no es continuo y elevado. En palabras del participante N° 8P: “pienso que la solar térmica no es muy interesante porque nuestro consumo de calor no es importante”. Otros hablan de experiencias negativas en instalaciones pequeñas, que se realizaron cumpliendo los requisitos del Código Técnico de la Edificación, pero que tuvieron que anular debido al bajo consumo.

Los técnicos que citan la geotermia se basan en su experiencia con edificios que fueron construidos con esta instalación desde un comienzo. Dos se refieren a instalaciones de geotermia de ciclo abierto y el resto a intercambiadores geotérmicos, entre los que predominan los sondeos verticales.

Findings

1) Renewable energy technologies (RETs) applicable to existing university buildings

The technologies identified, ranked according to the number of technicians citing them, are the following: photovoltaic (27), solar thermal (15), geothermal (9), biomass (6), mini-wind (3), aerothermal (2) and hydroelectric (1). Although it cannot be considered a RET, cogeneration is cited by four interviewees.

Most participants cite photovoltaics as the RET that can be most easily implemented in existing buildings, although they are aware that there are difficulties in its implementation. In order to integrate it, they propose to study the replacement of envelope elements with photovoltaic modules. For example, in the case of a ventilated façade facing south or southwest, they suggest using the modules as ventilated enclosures that produce electricity. Or in the case of skylights, they suggest the use of transparent photovoltaic modules, thus solving the problem of natural lighting and electricity production.

In the case of façades, another option is to use the modules as shading elements for the openings. In addition, it is possible to reduce insolation through the openings in the summer, reducing the energy consumed in the air-conditioning of the buildings.

With the new legislation on self-consumption (Ministry of Industry, Energy and Tourism 2015), photovoltaic implementation allows both self-consumption and sale of the entire production. Given the difficulty of state universities to become energy producers, one option is to rent available spaces on the roof or in car parks for private companies to install photovoltaic generators (Image 1). This type of action provides universities with an income that they can use to improve the energy efficiency measures of their buildings (Fuentes-del-Burgo *et al.* 2021).

Participants also refer in their responses to the use of hybrid solar panels as a solution that enables the production of hot water and electricity, achieving high overall efficiency and optimal use of available space (Yang *et al.* 2012).

Regarding solar thermal installations, interviewees are not unanimous and do not share the same opinion. Several state that these facilities do not make sense if the consumption of domestic hot water is not continuous and high. In the words of participant No. 8P: "I think that solar thermal is not very interesting because our heat consumption is not important". Others speak of negative experiences in small installations, which were carried out in compliance with the Technical Building Code requirements, but had to be cancelled due to low consumption.

Technicians who cite geothermal energy are based on their experience of buildings that were built with geothermal energy from the beginning. Two refer to open-cycle geothermal installations and the rest to geothermal heat exchangers, among which vertical boreholes predominate. Several respondents only consider horizontal boreholes for small-scale installations.

"Geothermal has to start from the beginning. I think it is more complicated to implement it in an existing building". (NO. 5E)

Biomass is only applied in heating installations, and there is no uniform approach to its use. In fact, some consider that it can be used in stand-alone buildings, while others recommend it for district heating installations, with a large central heating plant away from the campus that can serve other buildings with high demand.

Although not the most frequently mentioned, some interviewees consider that wind energy, in particular mini-wind turbines, can be applied in existing university buildings.

Interestingly, aerothermal energy is the least frequently mentioned technology. This may be due to the fact that its recognition as a renewable energy is relatively recent and provided that it meets the seasonal average performance requirements of the Commission Decision of 1 March 2013 (European Commission, 2013).

Varios participantes solo contemplan los sondeos horizontales para instalaciones de pequeña potencia. “La geotermia tiene que ser de partida. Implementarla a un edificio ya existente creo que es más complicado.” (Nº 5E).

La biomasa solamente se aplica en instalaciones de calefacción, y no hay un criterio uniforme en su uso. De hecho, algunos consideran que puede utilizarse en edificios aislados, mientras que otros la recomiendan para instalaciones de calefacción de distrito.

A pesar de no ser la más mencionada, la energía eólica es considerada por varios que señalan a los aerogeneradores de minieólica como aplicables en edificios universitarios existentes.

Resulta interesante que la aerotermia sea la tecnología menos veces mencionada. Esto puede deberse a que su reconocimiento como energía renovable es relativamente reciente y siempre que cumpla las exigencias de rendimiento medio estacional recogidas en la Decisión de la Comisión de 1 de marzo de 2013 (Comisión Europea, 2013).

Por último, un técnico cuyo campus se encuentra cerca de un río de cauce adecuado, cita que se han hecho estudios para la implantación de una central hidroeléctrica. Sin embargo, el proyecto no se pudo ejecutar por la existencia de barreras económico-financieras, legislativas y administrativas (Fuentes-del-Burgo *et al.* 2021).

2) Principales aplicaciones recomendadas para las TERs

Los entrevistados recomiendan las instalaciones solares térmicas para edificios con una gran demanda de agua caliente sanitaria, citando específicamente a “colegios mayores” (Nº 33E), “residencias de estudiantes” (Nº 19E), “polideportivos” (Nº 10E) o “pabellones universitarios” (Nº 24E) y el “calentamiento de la piscina climatizada” (Nº 6E).

La solar fotovoltaica tiene una aplicación multipropósito, aunque en algunos casos la empleen para instalaciones de alumbrado, como indica el participante Nº6: “las balizas que hay por el campus están alimentadas con la fotovoltaica”. Algunos recomiendan que estas instalaciones se utilicen solamente para autoconsumo, evitando todas las barreras asociadas a la legislación y a las empresas distribuidoras (Fuentes-del-Burgo *et al.* 2021). En cualquier caso, la ventaja principal de las instalaciones fotovoltaicas es que su aplicación puede ser muy diversa, como afirma el entrevistado Nº 8P: “la energía eléctrica es utilizable para todos los fines”.

Las instalaciones geotérmicas se recomiendan para la climatización de edificios, tanto para calefacción como para aire acondicionado. Las de biomasa para resolver el servicio de calefacción. En este último caso, varios sugieren la aplicación de calefacción de distrito, mediante una gran central térmica alejada del campus que pueda dar servicio a otros edificios de gran demanda.

3) Consideraciones sobre la aplicación de TERs en edificios universitarios existentes

Uno de los factores que más se repite es la elevada inversión que supone la implantación de TERs en edificios universitarios. Muchos participantes se refieren a estudios realizados que, siendo técnicamente viables, no se pudieron desarrollar por su elevado coste o por tener un periodo de amortización inasumible. Como resume el Nº 32E: “Por desgracia es una simple cuestión de dinero, no hay un impedimento técnico especial”. Para salvar el problema de la falta de financiación y poder realizar los proyectos de TERs, varios participantes describen haber buscado la colaboración con empresas energéticas.

La existencia de barreras administrativas y de legalización de algunas instalaciones es un factor que debe considerarse y gestionarse desde el comienzo del proyecto. El caso más común suele ser el de las instalaciones fotovoltaicas, en las que además aparecen las normativas particulares de las empresas distribuidoras de energía eléctrica.

En las instalaciones de geotermia, tanto abierta como de sondeos profundos, además influyen organismos dependientes de la Administración del Estado como señala el participante Nº 19: “La empresa que nos hizo el estudio nos recomendaba geotermia de profundidad y entramos en conflicto con la Confederación Hidrográfica”.

Finally, a technician whose campus is located near a river with a suitable watercourse mentions that they have carried out studies for the implementation of a hydroelectric power plant. He acknowledges that the project could not be implemented due to economic-financial, legislative and administrative barriers (Fuentes-del-Burgo et al. 2021).

2) Main suggested applications for RETs

Respondents recommend solar thermal systems for buildings with a high demand for domestic hot water, specifically citing "halls of residence" (No. 33E), "student residences" (No. 19E), "sports centres" (No. 10E) or "university pavilions" (No. 24E) and the "heating of the indoor swimming pool" (No. 6E).

Solar photovoltaic has a multi-purpose application, although in some cases it is used for lighting installations, as participant N°6 indicates: "the bollards around the campus are powered by photovoltaic".

Some recommend that the installations be used only for self-consumption, avoiding all the barriers associated with legislation and distribution companies (Fuentes-del-Burgo et al. 2021). In any case, the main advantage of photovoltaic installations is the wide range of applications, as interviewee No. 8P states: "electrical energy is usable for all purposes".

Geothermal installations are recommended for building air-conditioning, both for heating and cooling, while biomass systems are suggested to solve the heating service. In the latter case, several recommend the application of district heating, with a large thermal power plant supplying all campus buildings.

3) Considerations on TERs application in existing university buildings

One of the most frequently repeated factors is the high investment required to implement RETs in university buildings. Many participants refer to studies that were technically feasible but could not be carried out due to high costs or an unaffordable payback period. As summarised by No. 32E: "Unfortunately it is simply a question of money, there is no special technical constraint".

In order to overcome the lack of funding and to be able to implement the RET projects, several participants described seeking partnerships with energy companies.

The administrative and legalization barriers for some installations is a factor that must be considered and managed from the very start of the project. The most common case is that of photovoltaic installations, which are also subject to the specific regulations of electricity distribution companies.

Geothermal installations, both open and in deep boreholes, are also influenced by bodies dependent on State Administration, as participant No. 19 points out: "The company that carried out the study recommended deep geothermal energy and we came into conflict with the Hydrographic Confederation".

The low efficiency of the generating equipment, both in photovoltaic and solar thermal systems, is another factor to be considered, as it influences both the project cost and the space requirements for the location of the generators. Building orientation and shading also affect the space required and the amount of energy generated.

Another factor considered important is the easiness of integrating RETs into existing buildings. They acknowledge solutions for photovoltaic installations, that can make their application easier, although they recommend a specific study for each building. The most difficult to integrate, according to those interviewed, is mini-wind energy. They also point out the risk of noise generation and its propagation both at aerial level, which is a source of noise pollution covered by municipal by-laws, and by vibrations through the structure of the building itself.

El reducido rendimiento de los equipos productores, tanto en fotovoltaica como en solar térmica, constituye otro factor a considerar, puesto que influye tanto en el coste del proyecto como en las necesidades de espacio para ubicar los equipos generadores. La orientación de los edificios y la existencia de sombras también afectan al espacio necesario y a la cantidad de energía generada.

Otro factor considerado importante es la facilidad de integrar las TERs en los edificios existentes. Reconocen que para instalaciones como la fotovoltaica hay soluciones que pueden facilitar su aplicación, aunque recomiendan un estudio específico para cada edificio. La que presenta más dificultades de integración, según los entrevistados, es la minieólica. Además, señalan el riesgo de generación de ruidos y su propagación tanto a nivel aéreo, siendo una fuente de contaminación acústica recogida en ordenanzas municipales, como por vibraciones a través de la propia estructura de la edificación.

Los periodos de uso de los edificios también afectan negativamente. No hay que olvidar que en la Universidad, los edificios permanecen cerrados durante los meses de mayor disposición de energía solar, necesaria para producir electricidad o agua caliente sanitaria. En las instalaciones solares térmicas, esto obliga a tapar las instalaciones para evitar problemas de sobrecalentamiento.

En aerotermia aplicada a calefacción, varias personas identifican la diferencia de climatología existente entre el Norte y Centro de España frente a Levante y el Sur. Cuando en invierno las temperaturas son bajas, han encontrado problemas en el funcionamiento de los equipos y un sobrecoste debido al empleo de energía eléctrica de apoyo para resolver los ciclos de desescarche. En el caso de instalaciones geotérmicas señalan la necesidad de apoyar con calderas convencionales para cubrir los picos de demanda de calor en los meses más fríos. Adicionalmente, tanto en aerotermia como en geotermia, varios señalan el problema del precio de la energía eléctrica en comparación con el precio de los combustibles convencionales.

Las instalaciones de calefacción con biomasa también presentan un problema de espacio, dado que requieren grandes salas de almacenamiento del combustible.

Otro factor a considerar es la propia existencia del recurso energético. Así, los participantes de universidades del Norte de España señalan que, además del bajo rendimiento de las instalaciones fotovoltaicas, su principal problema es el bajo nivel de insolación en comparación con otras zonas de la Península.

4) Porcentaje y potencial de aplicación de TERs

El porcentaje de aplicación de TERs en los edificios de campus universitarios es bajo o muy bajo, salvo contadas excepciones. En España, la media del porcentaje de edificios con TERs es aproximadamente del 20%. En el caso de Portugal, una Universidad tiene más del 50% de sus edificios con TERs, mientras que las otras dos tienen un porcentaje igual o inferior al 10%. Varios entrevistados reconocen que los edificios de sus campus tienen potencial para la implantación de TERs, citando a las instalaciones fotovoltaicas en algunos casos (Imagen 2).

En las respuestas aparecen palabras y expresiones como “testimonial” (Nº 5), “muy baja” (Nº 10E; Nº 13E), “es una cifra insignificante” (Nº 11E), “residual” (Nº 19E), “muy poquita” (Nº 1E, Nº 3E, Nº 21E) o “no es significativo” (Nº 31E).

Conclusiones

En opinión de los técnicos que trabajan en las oficinas de gestión de la infraestructura de las universidades, las TERs que más aplicación tienen en edificios universitarios existentes son la fotovoltaica, la solar térmica, la minieólica, la biomasa, la geotermia y la aerotermia. Entre ellas, la que más posibilidades ofrece en cuanto a instalación y a la cantidad de servicios que puede cubrir es la fotovoltaica. Sin embargo, en cada proyecto tendrá que estudiarse la integración de los módulos y la resolución de los aspectos legales, administrativos y normativos.

Hoy en día es posible aumentar el porcentaje de TERs en edificios universitarios existentes, salvando una serie de barreras, siendo la más importante la disponibilidad de presupuesto.

The usage periods of the buildings also have a negative effect. It should not be forgotten that at the university, buildings are closed during the months when solar energy, which is needed to produce electricity or hot water, is most available. In the case of solar thermal installations, this makes it necessary to cover the installations to avoid overheating problems

In aerothermal heating, several people have identified the difference in climate between the North and Centre of Spain compared to the East and the South. When temperatures are low in the winter, they have encountered problems in the operation of the equipment and additional costs due to the use of backup electricity to solve the defrosting cycles.

In the case of geothermal installations, they point out the need to back up with conventional boilers to cover peak heat demand in the colder months. In addition, both in aerothermal and geothermal energy, several point out the problem of the price of electricity compared to the price of conventional fuels.

Biomass heating installations also present a space problem, as they require large fuel storage rooms.

Another factor to consider is the availability of the energy resource itself. Thus, participants from universities in northern Spain point out that, in addition to the low efficiency of photovoltaic installations, their main problem is the low level of sunshine compared to other areas of the peninsula.

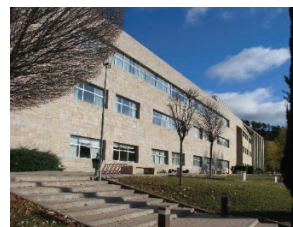
4) RETs implementation rate and potential

The percentage of buildings on university campuses with RETs is low or very low, with a few exceptions. In Spain, the average percentage of buildings with RETs is approximately 20%. In the case of Portugal, one university has more than 50% of its buildings with RETs, while the other two have a percentage of 10% or less. Several interviewees acknowledge that their campus buildings have potential for RETs implementation, citing photovoltaic installations in some cases (Imagen 2).

Words and expressions such as "testimonial" (No. 5), "very low" (No. 10E; No. 13E), "it is an insignificant figure" (No. 11E), "residual" (No. 19E), "very little" (No. 1E, No. 3E, No. 21E) or "not significant" (No. 31E) appear in the responses.



Cubierta de edificio / Building roof (Fuente / Source: Google Earth).



Fachada Sur / South facade

(Fuente/Source: Elaboración propia / Own elaboration).

Imagen 2. Posibilidad de aplicación de instalación fotovoltaica en edificio universitario existente de la UCLM (España).
Imagen 2. Possibility of application of photovoltaic installation in existing university building of UCLM (Spain).

Conclusions

According to the technicians who work in the infrastructure management offices of the universities, the most widely used RETs in existing university buildings are photovoltaic, solar thermal, mini-wind, biomass, geothermal and aerothermal. Of these, photovoltaics offers the most possibilities in terms of installation and the number of services covered. However, the integration of the modules and the resolution of legal, administrative and regulatory aspects will have to be studied in each project.

Nowadays, it is possible to increase the percentage of TERs in existing university buildings, provided that a number of barriers are overcome, the most important being budget availability.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Bertone E, Sahin O, Stewart RA, Zou P, Alam M, Blair E. «State-of-the-art review revealing a roadmap for public building water and energy efficiency retrofit projects». *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5 (2016): 526–548.
- Born FJ, Clark JA, Johnstone CM, Kelly NJ, Burt G, Dysko A, McDonald J, Hunter IB. «On the integration of renewable energy systems within the built environment». *Building Services Engineering Research and Technology*, 22, (2001): 3-13.
- Comisión Europea. «Decisión de la Comisión de 1 de marzo de 2013 por la que se establecen las directrices para el cálculo por los Estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo». *Diario Oficial de la Unión Europea*, (2013): L62/27-L62/35.
- Cooke R, Cripps A, Irwin A, Kolokotroni M. «Alternative energy technologies in buildings: Stakeholder perceptions». *Renewable Energy*, 32, (2007): 2320-2333.
- Creswell J. «Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches». Sage (2009): Thousand Oaks, CA, USA.
- Day, JK. «Survey and Interview Approaches to Studying Occupants. In Exploring Occupant Behavior in Buildings». *Methods and Challenges*; Wagner, A., O'Brien, W., Dong, B., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, (2017): 213-238.
- Economidou M, Todeschi V, Bertoldi P, Agostino DD, Zangheri P, Castellazzi L. «Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings». *Energy and Buildings*, 225, (2020): 110322.
- Erhorn-Kluttig H. 2017. «Overview. Energy Efficient University Campus Projects. The European Portal for Energy Efficiency in Buildings». <http://www.buildup.eu/en/news/overview-energy-efficient-university-campus-projects-0> (Accessed 27 August 2020).
- European Commission. «Communication from the Commission. Europe 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth». European Commission (2010): Brussels.
- Fuentes-del-Burgo J, Navarro-Astor E, Ramos NMM, Martins JP. «Exploring the critical barriers to the implementation of renewable technologies in existing university buildings». *Sustainability*, 13, (2021): 12662.
- Leal Filho W, Lange Salvia A., do Paço A, Anholon R, Gonçalves Quelhas OL, Izabela Simon Rampasso I, Artie Ng A, Balogun A, Kondev, B, Londero Brandli L. «A comparative study of approaches towards energy efficiency and renewable energy use at higher education institutions». *Journal of Cleaner Production*, 237, (2019): 117728.
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. «Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo». *Boletín Oficial del Estado*, 10 de octubre de 2015, (2015): 94874-94917.
- Nasirov S, Silva C, Agostini CA. «Investors' Perspectives on Barriers to the Deployment of Renewable Energy Sources in Chile». *Energies*, 8, (2015): 3794-3814.
- Ruparathna R, Hewage K, Sadiq R. «Improving the energy efficiency of the existing building stock: A critical review of commercial and institutional buildings». *Renewable and Sustainable Energy Review*, 53, (2016):1032-1045.
- Sommerfeld J, Buys L, Vine D. «Residential consumers' experiences in the adoption and use of solar PV». *Energy Policy*, 105, (2017): 10-16.
- Ugulu AI. «Barriers and motivations for solar photovoltaic (PV) adoption in urban Nigeria». *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 21, (2019): 19–34.
- Wadud Z, Royston S, Selby J. «Modelling energy demand from higher education institutions: a case study of the UK». *Applied Energy*, 233, (2019): 816-826.
- Woo JH, Menassa C. «Virtual Retrofit Model for aging commercial buildings in a smart grid environment». *Energy and Buildings*, 80, (2012): 424–435.
- Yang DJ, Yuan ZF, Lee, PH, Yin, HM. «Simulation and experimental validation of heat transfer in a novel hybrid solar panel». *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, (2012): 1076–1082.

ESTADO DEL ARTE: USOS DE ENERGÍAS RENOVABLES JUNTO CON EL SECTOR PRIMARIO AGROALIMENTARIO

STATE OF THE ART: USES OF RENEWABLE ENERGIES IN CONJUNCTION WITH THE PRIMARY AGRI-FOOD SECTOR

Amparo León-Vinet

Máster en Ingeniería en Tecnologías Industriales por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: amleovi@etsii.upv.es

Elisa Peñalvo-López

*PhD. por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: elpealpe@upvnet.upv.es
PhD. from the Polytechnic University of Valencia. Institute of Energy Engineering of the UPV. Polytechnic University of Valencia, Camino de Vera, 46022 Valencia, Spain. Email: elpealpe@upvnet.upv.es*

Vicente León-Martínez

Investigador en el Instituto de Ingeniería Energética; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Catedrático de Escuela Universitaria, Doctor en Ingeniería Industrial por la UPV. E-mail: vleon@die.upv.es

Researcher at the Institute for Energy Engineering; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. Associated Professor. PhD in Industrial Engineering, UPV. E-mail: vleon@die.upv.es

Joaquín Montañana-Romeu

Investigador en el Instituto de Ingeniería Energética; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Catedrático de Escuela Universitaria, Doctor en Ingeniería Industrial por la UPV. E-mail: jmontanana@die.upv.es

Researcher at the Institute for Energy Engineering; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. Associated Professor. PhD in Industrial Engineering, UPV. E-mail: jmontanana@die.upv.es

Abstract

In 1982, Adolf Goetzberger and Armin Zastrow proposed a solar energy configuration that could coexist with agriculture. Today, not only has this idea been applied to all continents, but it has been extended to other sectors, such as livestock, aquaculture, and beekeeping. Reviewing the Asian, European, and American continents, a series of patterns related to their type of food can be observed. In Asia, with a higher consumption of rice and fish, the focus is on Agrivoltaics and Aquavoltaics. In Europe, with a smaller surface area, research is more focused on greenhouses and beekeeping. In America, due to its large surface area, the application of solar panels for agriculture, livestock and aquaculture can be observed in various articles. In the case of Spain, the policies applied during 2015 and 2018 have acted against the research and implementation of these systems, despite being one of the countries of the European Union that could take better advantage of it due to the large number of sun hours it possesses.

Resumen

En el año 1982, Adolf Goetzberger y Armin Zastrow propusieron una configuración de energía solar que podía coexistir con la agricultura. En la actualidad, no solamente esta idea se ha aplicado a todos los continentes, sino que se ha ampliado a otros sectores, como son el de la ganadería, la acuicultura y la apicultura. Revisando el continente asiático, europeo y americano, se observan una serie de patrones relacionados con su tipo de alimentación. En Asia, con un mayor consumo de arroz y pescado, su foco se centra en las Agrivoltaics y en las Aquavoltaics. En Europa, con una menor superficie, la investigación se encuentra más focalizada a los invernaderos y la apicultura. En América, debido a su gran superficie, la aplicación de paneles solares para la agricultura, ganadería y acuicultura se pueden observar en diversos artículos. En el caso de España, las políticas aplicadas durante los años 2015 y 2018 han actuado en contra de la investigación e implantación de estos sistemas, a pesar de ser uno de los países de la Unión Europea que mejor podría aprovecharlo debido a la gran cantidad de horas de luz solar que posee.

Keywords

Agrivoltaics, Renewable energy, Primary sector, Farming, Urban agriculture, Urban Garden, Solar Power, Aquavoltaics, Aquaculture, Photovoltaic, Livestock, Food

Introducción

En el año 2015 se aprobó la Agenda 2030, donde se recogen los Objetivos del Desarrollo Sostenible [1] con el objetivo de erradicar la pobreza y proteger al planeta, para así asegurar la prosperidad mundial. Entre los 17 objetivos, se encuentra el de acabar con el hambre fomentando la agricultura sostenible y el de asegurar que todo el mundo accede a una energía asequible, sostenible, fiable y moderna. Pero ambas requieren grandes extensiones de terreno.

Una posible solución la hallaron Adolf Goetzberger y Armin Zastrow. En el año 1982 propusieron una configuración que energía solar que podía coexistir con la agricultura, solventando así los problemas con la tierra, acuñándose en 2011 con el nombre de *Agrivoltaics* [2]. Actualmente se están realizando estudios sobre las ventajas que podrían aportar en distintas ciudades.

El objetivo de este artículo es recopilar las investigaciones más recientes relacionadas con el tema, además de nuevas configuraciones que han surgido como la combinación de los paneles solares junto con la ganadería, las piscifactorías e incluso la apicultura.

Introduction

In 2015, the 2030 Agenda was approved, which includes the Sustainable Development Goals [1] with the aim of eradicating poverty and protecting the planet, to ensure global prosperity. Among the 17 goals are to end hunger by promoting sustainable agriculture and to ensure that everyone has access to affordable, sustainable, reliable, and modern energy. But both require large areas of land.

One possible solution was found by Adolf Goetzberger and Armin Zastrow. In 1982 they proposed a configuration that solar energy could coexist with agriculture, thus solving the problems with land, coined in 2011 as *Agrivoltaics* [2]. Studies are currently being carried out on the advantages they could bring in different cities.

The aim of this article is to compile the most recent research related to the subject, in addition to new configurations that have emerged such as the combination of solar panels together with livestock, fish farms and even beekeeping.

Uso de *Agrivoltaics* en el mundo

No fue hasta principios del siglo XXI cuando se empezaron a desarrollar e implantar prototipos basados en la idea de Goetzberger y Zastrow, de los cuales se han realizado diversos estudios en distintos países.

El país pionero en esta tecnología ha sido Japón, donde la Agrivoltaica se conoce como “reparto solar”. En 2004, Akira Nagashima estudió el punto el cual un incremento en la radiación solar no incrementaba el ratio de fotosíntesis de las plantas [3]. A partir de ahí, combinó paneles solares fotovoltaicos con los terrenos cultivados, diseñando una estructura desmontable. Desde entonces, se han desarrollado más de 1.992 plantas con un total de 560 ha, cumpliendo con la ley del país que exige que se mantenga el 80% de la producción agrícola. Sin embargo, a pesar de que esta tecnología está revitalizando la agricultura en el país, en un 69% de los casos tras la instalación se modifica el cultivo local a otro más adecuado para este sistema, reduciendo la variedad de la producción [4].



Figura 1. Prototipo de Agrivoltaica o "reparto solar", por Akira Nagashima [3]
Agrivoltaics or "Solar Sharing" prototype, by Akira Nagashima [3]

En el resto de Asia se siguen los mismos pasos que Japón para una transición hacia una energía limpia que permita el uso de la tierra. En Corea del Sur desde 2017 están empleando la Agrivoltaica con el objetivo de incrementar la participación de las energías renovables hasta el 20% para 2030, centrándose en las plantaciones de arroz [5].

En India, se realizó un estudio sobre el potencial de los viñedos para la tecnología Agrivoltaica, instalando los paneles solares entre los espacios de este cultivo. Los resultados mostraron que el valor económico de estas granjas incrementaría más de 15 veces comparado con las que no generan energía renovable, manteniendo una producción similar de uvas y haciendo accesible la electricidad a las zonas más rurales [6]. Un caso de estudio en Maharashtra indica que la Agrivoltaica es una opción económicamente viable que permitiría de media doblar la eficiencia de los terrenos combinando la electricidad y los cultivos generados por unidad de tierra [7].

Para el caso de Europa, se comenzó empleando la energía fotovoltaica en invernaderos. En Austria, Günter Czaloun propuso en 2004 un sistema fotovoltaico en base a una estructura de cables elevada sobre el suelo, con el beneficio de requerir menos acero que otras estructuras de dimensiones similares de construcción tradicional [8].

Sobre los invernaderos franceses, la empresa Akuo Energy ha instalado invernaderos fotovoltaicos compuestos en un 50% por paneles fotovoltaicos y 50% chapas onduladas [9]. Ténergie también se encuentra construyendo cinco invernaderos de techo escalonado con paneles solares en la cara sur con el objetivo de difundir la luz solar y reducir los contrastes entre las zonas de luz y sombra [10].

Pasando al continente americano, las principales investigaciones y construcciones se encuentran en Estados Unidos, donde hay varios proyectos estudiando los efectos de la combinación de energía solar fotovoltaica y la agricultura para diversos cultivos y en lugares aislados. Entre los cultivos estudiados se encuentra la lechuga, la cual admite el sombraje y si todos los cultivos de este tipo en Estados Unidos tuvieran paneles solares, podrían generarse entre 40 y 70 GW [11]. En las zonas rurales del país, su instalación a gran escala reduciría las emisiones de CO₂ y se estima que crearía más de 100.000 empleos [12].

Empezando desde 2020, existe un congreso online donde se reúnen para hablar sobre Agrivoltaics, desde los aspectos técnicos y modelos de producción hasta los temas legales y económicos de los mismos. En el año 2022 se celebrará la 3ª edición *AgriVoltaics2022* de forma híbrida en Italia [13].

Agrivoltaics use worldwide

It was not until the beginning of the 21st century that prototypes based on Goetzberger and Zastrow's idea began to be developed and implemented, and several studies have been carried out in different countries.

The first country to introduce this technology has been Japan, where Agrivoltaica is known as "Solar Sharing". In 2004, Akira Nagashima studied the point at which an increase in solar radiation did not increase the rate of photosynthesis of plants [3]. From there, he combined photovoltaic solar panels with the cultivated land, designing a removable structure. Since then, more than 1,992 plants have been developed with a total of 560 ha, complying with the country's law requiring 80% of agricultural production to be maintained. However, even though this technology is revitalizing agriculture in the country, in 69% of the cases after installation, the local crop is modified to another more suitable for this system, reducing the variety of production [4].

In the rest of Asia, the same steps are being followed as Japan for a transition to clean energy that allows the use of land. In South Korea since 2017 they are employing Agrivoltaics with the goal of increasing the share of renewable energy to 20% by 2030, focusing on rice plantations [5].

In India, a study was conducted on the potential of grape farms for Agrivoltaic technology by installing the solar panels between the spaces of this crop. The results showed that the economic value of these farms would increase more than 15 times compared to those that do not generate renewable energy, maintaining a similar production of grapes and making electricity accessible to rural areas [6]. A case study in Maharashtra indicates that Agrivoltaics is an economically viable option that would on average double the efficiency of land by combining electricity and crops generated per unit of land [7].

In the case of Europe, photovoltaic energy was first used in greenhouses. In Austria, Günter Czaloun proposed in 2004 a photovoltaic system based on a cable structure elevated above the ground, with the benefit of requiring less steel than other structures of similar dimensions of traditional construction [8].

On French greenhouses, the company Akuo Energy has installed photovoltaic greenhouses composed of 50% photovoltaic panels and 50% corrugated sheets [9]. Ténergie is also building five stepped-roof greenhouses with solar panels on the south side to diffuse sunlight and reduce contrasts between light and shade zones [10].

Moving to the American continent, the main research and constructions are in the United States, where there are several projects studying the effects of the combination of solar photovoltaic energy and agriculture for various crops and in isolated locations. Among the crops studied is lettuce, which supports shading and, if all crops of this type in the United States had solar panels, between 40 and 70 GW could be generated [11]. In rural areas of the country, their large-scale installation would reduce CO₂ emissions and is estimated to create more than 100,000 jobs [12].

Starting from 2020, there is an online congress where they meet to talk about Agrivoltaics, from the technical aspects and production models to the legal and economic issues of them. In 2022, the 3rd edition AgriVoltaics2022 will be held in hybrid form in Italy [13].

Combinaciones similares con paneles solares

La combinación de paneles solares con la alimentación humana no se limita únicamente al caso de la agricultura. En los últimos años se han desarrollado una multitud de alternativas, de las cuales se van a destacar el sector de la ganadería, la acuicultura o *Aquavoltaics*, y la apicultura.

En el sector de la ganadería, en una evaluación realizada por la Universidad de Minnesota se concluye que el uso de paneles solares como método de sombraje para el ganado vacuno reduce su estrés térmico e incrementa su bienestar, además de aumentar la eficiencia del terreno [14]. En otro estudio, determinan que los animales bovinos prefieren el sombraje generado por los paneles solares al empleado actualmente mediante telas que bloquean el 80% de la radiación solar [15].

La acuicultura, o las actividades y técnicas de crianza de especies acuáticas, pueden beneficiarse de la energía eléctrica obtenida por los paneles solares. En un estudio realizado sobre

Estados Unidos, la colocación de éstos encima de las piscifactorías reduciría los ratios de evaporación e incrementaría el bienestar de los animales mediante el control de oxígenos y las luces LED que podrían alimentarse del mismo sistema eléctrico [16]. Gracias a este estudio, otras ideas han ido surgiendo, más enfocadas para el caso de Tailandia, donde existen aproximadamente 40.000ha dedicadas a la acuicultura y podría ser la medida necesaria para lograr el objetivo del gobierno de generar 20GW de energía solar en 2025 [17] [18].

Relacionado con lo anterior, se está estudiando la viabilidad de colocar plantas solares junto con la obtención de sal, por las grandes superficies que ocupa y por el enfriamiento que proporciona el agua marina a los paneles solares, mejorando su eficiencia [19].

Por último, en un estudio realizado en 2020 sobre la apicultura y los paneles solares, se obtuvo de resultados que la temperatura de las colmenas protegidas bajo estos paneles era superior a la media en invierno e inferior a la media en verano. Además de ello, la cantidad de miel recogida era un 15.8% superior a la media y maduraba dos días antes [20].

Similar combinations with solar panels

The combination of solar panels with human food is not only limited to the case of agriculture. In recent years, a multitude of alternatives have been developed, of which the livestock sector, aquaculture or Aquavoltaics, and beekeeping will be highlighted.

In the livestock sector, an evaluation conducted by the University of Minnesota concludes that the use of solar panels as a shading method for cattle reduces their thermal stress and increases their welfare, in addition to increasing the efficiency of the field [14]. In another study, they found that cattle prefer the shade generated by solar panels to that currently used with fabrics that block 80% of solar radiation [15].

Aquaculture, or aquatic species farming activities and techniques, can benefit from the electrical energy obtained from solar panels. In a study conducted in the United States, the placement of solar panels on top of fish farms would reduce evaporation rates and increase animal welfare through oxygen control and LED lights that could be powered by the same electrical system [16]. Thanks to this study, other ideas have been emerging, more focused for Thailand, where there are approximately 40,000ha dedicated to aquaculture and could be the necessary measure to achieve the government's goal of generating 20GW of solar energy by 2025 [17] [18].

Related to the above, the feasibility of placing solar plants together with salt production is being studied, due to the large surface areas it occupies, and the cooling provided by seawater to the solar panels, improving their efficiency [19].

Finally, a study conducted in 2020 on beekeeping and solar panels showed that the temperature of the hives protected under these panels was higher than average in winter and lower than average in summer. In addition, the amount of honey collected was 15.8% higher than average and matured two days earlier [20].

Situación en España

En el caso de España, la combinación de agricultura con paneles solares no se encuentra extendida todavía en el territorio, a pesar de las condiciones favorables que ofrece el país para la tecnología de este tipo, siendo uno de los países de Europa con mayor cantidad de horas de sol. Esta situación se encuentra afectada por el Real Decreto 900/2015, conocido como “impuesto al sol”, que no fue derogado hasta 2018 y durante el cual se aplicó una tasa que obligaba a los usuarios de autoconsumo pagar por estar conectados a la red eléctrica con el objetivo de contribuir a mantener el sistema eléctrico.

El uso principal de paneles solares en la agricultura en España se encuentra en cubiertas para invernaderos y para la alimentación del sistema de regadío del terreno, similar a la situación en la Unión Europea [21]. Uno de los últimos estudios se realizó en Almería, donde se obtuvo de

resultado que el uso de paneles solares para los tomates de invernadero no afecta a la calidad de éstos, pero sí reduce su diámetro [22].

Además de para los invernaderos, existe un proyecto piloto relacionado con la apicultura en Carmona, donde se juntan una instalación de paneles solares, plantas aromáticas y abejas. En ella se generan 100 MW en 200 hectáreas, con 3 hectáreas dedicadas al cultivo de estas hierbas y entre 50 y 60 colmenas [23].

Spain situation

In the case of Spain, the combination of agriculture with solar panels is not yet widespread in the territory, despite the favorable conditions offered by the country for technology of this type, being one of the countries in Europe with the highest number of hours of sunshine. This situation is affected by Royal Decree 900/2015, known as the "sun tax", which was not repealed until 2018 and during which a fee was applied that obliged self-consumption users to pay for being connected to the electricity grid with the aim of contributing to maintaining the electricity system.

The main use of solar panels in agriculture in Spain is in greenhouse roofs and for the irrigation system of the land, similar to the situation in the European Union [21]. One of the latest studies was carried out in Almería, where it was found that the use of solar panels for greenhouse tomatoes does not affect their quality but does reduce their diameter [22].

In addition to greenhouses, there is a pilot project related to beekeeping in Carmona, where an installation of solar panels, aromatic plants and bees are combined. It generates 100 MW in 200 hectares, with 3 hectares dedicated to the cultivation of these herbs and between 50 and 60 beehives [23].

Conclusiones

La combinación de energías renovables junto con el sector primario agroalimentario puede resultar clave para lograr dos de los objetivos de desarrollo sostenible y además alcanzar las metas fijadas para los años 2030 y 2050 relacionado con las emisiones de gases de efecto invernadero.

Cada continente tiene una forma distinta de aplicar esta tecnología:

- En Asia, donde existe un mayor consumo de arroz y de pescado, las *Agrivoltaics* de campo abierto y las *Aquavoltaics* suponen el principal empuje a las energías solares. Sin embargo, en Japón se están empujando cultivos aptos para esta tecnología, reduciendo la variedad.
- En Europa, con menor superficie de terreno, la investigación se concentra en la aplicación para invernaderos y sistemas de regadío, donde se aprovecha parte de la superficie para implementar los paneles.
- En América, las grandes superficies de terreno dedicadas tanto a la agricultura como a la ganadería y a la acuicultura impulsan la investigación de su combinación con los paneles solares, especialmente para las áreas rurales de las mismas.
- Para el caso de España, siendo uno de los países con mayor horas de sol de Europa, aplicar estas tecnologías tanto para los viñedos y hortalizas como para el sector ganadero daría un gran impulso al país. Para los huertos solares existentes, podrían implantarse el cultivo de hierbas aromáticas y colmenas, debido a los beneficios demostrados anteriormente y para protegerlas de la extinción.

En definitiva, la combinación de ambos mundos, tanto el de la alimentación como el de la energía solar eléctrica, podrían ser la pieza necesaria para lograr cambiar el futuro y alcanzar la igualdad y bienestar mundial.

Conclusions

The combination of renewable energies together with the primary agri-food sector can be key to achieving two of the Sustainable Development Goals and meeting the targets set for 2030 and 2050 related to greenhouse gas emissions.

Each continent has a different way of applying this technology:

- In Asia, where there is a higher consumption of rice and fish, open-field Agrivoltaics and Aquavoltaics are the main push for solar energy. However, in Japan, crops suitable for this technology are being pushed, reducing the variety.
- In Europe, with a smaller land area, research is focused on the application in greenhouses and irrigation systems, where part of the surface area is used to implement the panels.
- In the Americas, the large areas of land dedicated to agriculture, livestock and aquaculture are driving the research to combine them with solar panels, especially for rural areas.
- In the case of Spain, being one of the countries with the most hours of sunshine in Europe, applying these technologies for vineyards and vegetables as well as for the livestock sector would give a great boost to the country. For existing solar gardens, the cultivation of aromatic herbs and beehives could be implemented, due to the benefits demonstrated above and to protect them from extinction.

In short, the combination of the two worlds, both food and solar electric power, could be the necessary building block to change the future and achieve global equality and well-being.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- [1] Naciones Unidas. Objetivos del Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- [2] Goetzberger, A., & Zastrow, A. (1982). On the Coexistence of Solar Energy Conversion and Plant Cultivation. *International Journal of Solar Energy*, 1, 55-69.
- [3] Movellan, J. (2013). Japan Next-Generation Farmers Cultivate Crops and Solar Energy. *Renewable Energy World*. Obtenido de: <https://www.renewableenergyworld.com/solar/japan-next-generation-farmers-cultivate-agriculture-and-solar-energy/>
- [4] Tajima, Makoto & Iida, Tetsunari. (2021). Evolution of agrivoltaic farms in Japan. *AIP Conference Proceedings*, 2361, 030002. 10.1063/5.0054674. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/352803816_Evolution_of_agrivoltaic_farms_in_Japan
- [5] Arirang News (2017). Solar farming is growing as option for producing renewable energy. Obtenido de: https://www.youtube.com/watch?v=hKXlx2riMgo&ab_channel=ArirangNews
- [6] Malu, P.R., Sharma, U.S. & Pearce, J.M. (2017). Agrivoltaic potential on grape farms in India. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 23. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.08.004>
- [7] Trommsdorff, M., Vorast, M., Durga, N., & Padwardhan, S. (2021). Potential of agrivoltaics to contribute to socio-economic sustainability: A case study in Maharashtra / India. *AIP Conference Proceedings*, 2361, art. no. 040001. Obtenido de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85109544291&doi=10.1063%2f5.0054569&partnerID=40&md5=63c086b2f449571e0fceeacae66db3e6>
- [8] PV Europa (2017). A rope rack for PV modules. Obtenido de: <https://www.pveurope.eu/solar-generator/rope-rack-pv-modules>
- [9] Wikiagri.fr (2017). Un rayon de soleil pour des filières agricoles en difficulté. Obtenido de: <https://wikiagri.fr/articles/un-rayon-de-soleil-pour-des-filieres-agricoles-en-difficulte/11800>
- [10] Lemoniteur.fr (2018). Mallemort expérimente un Nouveau type de serre photovoltaïque. Obtenido de: <https://www.lemoniteur.fr/article/mallemort-experimente-un-nouveau-type-de-serre-photovoltaique.958454>
- [11] Dinesh, H., & Pearce, J. (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, pp. 299-308. Obtenido de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84945929814&doi=10.1016%2fj.rser.2015.10.024&partnerID=40&md5=a4bf36df8727c335fb829b0527f34e66>

- [12] Proctor, K., Murthy, G., & Higgins, C. (2021). Agrivoltaics align with green new deal goals while supporting investment in the us' rural economy. *Sustainability (Switzerland)*, 13 (1), art. no. 137. Obtenido de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85098798252&doi=10.3390%2fsu13010137&partnerID=40&md5=610aa2b20644e28537cab7da2fe14afa>
- [13] AgriVoltaics2022. Conference & Exhibition (2021). Obtenido de: <https://www.agrivoltaics-conference.org/>
- [14] Sharpe, K., Heins, B., Buchanan, E., & Reese, M. (2021). Evaluation of solar photovoltaic systems to shade cows in a pasture-based dairy herd. *Journal of Dairy Science*, 104. Obtenido de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85098127075&doi=10.3168%2fjds.2020-18821&partnerID=40&md5=51933415f3e8054305ba57d64070a6b8>
- [15] Campos Maia, A.S., et al. (2020). Photovoltaic panels as shading resources for livestock. *Journal of Cleaner Production*, Volume 258. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120551>
- [16] Pringle, A.M., Handler, R.M., & Pearce, J.M. (2017). Aquavoltaics: Synergies for dual use of water area for solar photovoltaic electricity generation and aquaculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 80, Pages 572-584. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.191>
- [17] Château, P.A., et al. (2019). Mathematical modeling suggests high potential for the deployment of floating photovoltaic on fishponds. *Science of The Total Environment*, Volume 687. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.420>
- [18] Hsiao, Y.J., Chen, J.L., Huang, C.T. (2021). What are the challenges and opportunities in implementing Taiwan's aquavoltaics policy? A roadmap for achieving symbiosis between small-scale aquaculture and photovoltaics. *Energy Policy*, Volume 153. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112264>
- [19] Kim, B., et al. (2020). Aquavoltaic system for harvesting salt and electricity at the salt farm floor: Concept and field test. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 204. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.110234>
- [20] He, W., et al. (2020). Field experimental study on a novel beehive integrated with solar thermal/photovoltaic system. *Solar Energy*, Volume 201, Pages 682-692. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.054>
- [21] Coversun Solutions (2021). Agrovoltaica: beneficios de la fotovoltaica para el sector agrícola 2021. Obtenido de: <https://coversun.es/agrovoltaica-fotovoltaica-sector-agricola/>
- [22] Aroca-Delgado, R., Pérez-Alonso, J., Callejón-Ferre, Á.J., Díaz-Pérez, M. (2019). Morphology, yield and quality of greenhouse tomato cultivation with flexible photovoltaic rooftop panels (Almería-Spain). *SCI Hortic*, 257 (2019), Article 108768. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108768>
- [23] Endesa (2020). El lugar donde conviven abejas, cultivos y placas fotovoltaicas. Obtenido de: <https://www.endesa.com/es/proyectos/todos-los-proyectos/economia-circular/agrivoltaica-generacion-energia-solar-agricultura-apicultura>

METODOLOGÍA PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO MEDIANTE LA DISCRETIZACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS EN EL SECTOR RESIDENCIAL

METHODOLOGY FOR THE REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION THROUGH THE DISCRETISATION OF ELECTRICITY LOADS IN THE RESIDENTIAL SECTOR

Clara Andrada-Monrós

MSc en Ingeniería Industrial por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Tecnología de Materiales de la UPV. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: claanmon@etsii.upv.es
MSc in Industrial Engineering from the Polytechnic University of Valencia. Institute of Materials Technology of the UPV. Polytechnic University of Valencia, Camino de Vera, 46022 Valencia, Spain. Email: claanmon@etsii.upv.es

Elisa Peñalvo-López

PhD. por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: elpealpe@upvnet.upv.es
PhD. from the Polytechnic University of Valencia. Institute of Energy Engineering of the UPV. Polytechnic University of Valencia, Camino de Vera, 46022 Valencia, Spain. Email: elpealpe@upvnet.upv.es

Javier Cárcel-Carrasco

PhD. por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarcl@csa.upv.es
PhD. from the Polytechnic University of Valencia; Institute of Materials Technology. Polytechnic University of Valencia. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, UPV. E-mail: fracarcl@csa.upv.es

Vicente León-Martínez

Profesor Catedrático de Escuela Universitaria, Doctor en Ingeniería Industrial por la UPV, Investigador en el Instituto de Ingeniería Energética; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. E-mail: vleon@die.upv.es
Professor of Industrial Engineering, PhD in Industrial Engineering, Researcher at the Institute for Energy Engineering; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. E-mail: vleon@die.upv.es

Resumen

El modelo energético actual requiere una transformación que esté basada en un modelo sostenible accesible para todos, centrado en las necesidades de los ciudadanos y comprometido con el cambio climático. Todo esto sumado al encarecimiento de las fuentes no renovables de energía, y la presencia cada vez mayor de la generación renovable distribuida, tiene una gran repercusión en el sector eléctrico, creando la necesidad de desarrollar mecanismos que ayuden a gestionar la demanda energética para converger en un sistema eléctrico eficiente, libre de emisiones, responsable con el medio ambiente y las generaciones futuras. Dada esta necesidad, el reciente cambio de normativa de los sistemas tarifarios eléctricos y la introducción de la discriminación horaria en el sector residencial, y basada en una encuesta para conocer la predisposición y sensibilidad de la sociedad en la gestión de la demanda, se precisa del uso de una herramienta capaz de ayudar al consumidor a regular su consumo de energía, analizar su perfil de consumo y planificar su cargas domésticas para obtener el menor impacto energético y económico.

Abstract

The current energy model requires a transformation based on a sustainable model that is accessible to all, focused on the needs of citizens and committed to climate change. Moreover, the rising cost of non-renewable energy sources, and the growing presence of distributed renewable generation, has a major impact on the electricity sector, creating the need to develop mechanisms to help manage energy demand in order to converge towards an efficient, emission-free electricity system that is responsible for the environment and future generations. Based on this need, the recent change in the regulation of electricity tariff systems and the introduction of time discriminations in the residential sector, and supported by a survey to find out society's predisposition and sensitivity to demand management, the use of a tool capable of helping consumers to regulate their energy consumption, analyse their consumption pattern and plan their domestic loads to obtain the lowest energy and economic impact is required.

Keywords:

Active demand-side management, Load shedding, Energy optimisation, Renewable energy

Introducción

Para que un modelo energético se considere sostenible debe satisfacer y compatibilizar el desarrollo económico, social y ambiental sin afectar negativamente al crecimiento de las generaciones futuras [1]. El modelo energético actual presenta deficiencias en estos tres aspectos. En primer lugar, se destaca la insostenibilidad económica a través de la subida de los precios eléctricos. Por otro lado, en el ámbito social se manifiesta a través de la pobreza energética en los hogares representándose como bajos ingresos, baja eficiencia energética de las viviendas y precios elevados de la energía, y, por último, a nivel ambiental puesto que se potencia el uso de fuentes de energía menos eficientes. A todo esto, debe sumarse el impacto negativo de la pandemia del COVID-19, que ha tenido repercusiones a nivel mundial en el sector de la energía: el número de personas con acceso a la electricidad en países en vías de desarrollo, como por ejemplo África cuya tendencia desde hace años era creciente, parece que está disminuyendo, y el déficit que está produciendo en los gobiernos desarrollados hace que más de 100 millones de personas no puedan pagar las facturas de electricidad [2].

No obstante, desde el marco legislativo europeo se ha tratado de incentivar y acelerar el desarrollo sostenible para obtener una economía más competitiva e innovadora, fomentando la investigación y el desarrollo de proyectos enmarcados en el área de energías renovables, ahorro y eficiencia energética, redes inteligentes e introducción de vehículo eléctrico [3]. Además, a través de la Ley 24/2013 del sector Eléctrico se introdujeron métodos de sostenibilidad económica y financiera a través de cargos y peajes, y se definieron nuevas obligaciones para el autoconsumo y la generación con energías renovables [4]. Más tarde se incorporaron nuevas medidas a través del Real Decreto 244/2019 y la Circular 3/2020 que suponen un avance para el autoconsumo, y además un recurso indirecto para el fomento de la eficiencia y el ahorro energético implicando activamente a los consumidores [5] [6].

La importancia de la implicación del sector residencial en el contexto energético se debe a que se le atribuye una demanda de aproximadamente un 25% del consumo eléctrico en España [7]. Además, en el año 2019 la demanda energética máxima anual se produjo en el mes de enero entre las 20 y 21 horas, siendo la mayor parte del consumo dado por el sector residencial con un 34,5% de la demanda total [8]. Entre los principales retos a los que se enfrenta la gestión de la demanda se encuentra la reducción del periodo punta de la curva de demanda, la integración de energías renovables, o el impulso de los consumidores a la participación activa en la gestión de la demanda [9]. El fomento del consumo eficiente en hogares, influyendo a los usuarios individuales para desplazar el consumo de horas punta a otros periodos con excedente de generación es un factor clave para el nuevo modelo energético. Diferentes países han desarrollado proyectos relacionados con la gestión activa en el sector residencial con el fin de conocer qué efectos produce en la curva de demanda, el alcance que puede suponer en el sistema energético o para componer horariamente la demanda segmentada analizando los factores que influyen como la estacionalidad y la laboralidad entre otros. Estos proyectos sirven de base para el desarrollo de proyectos posteriores. En la tabla 1 se recogen algunos de estos proyectos que han influido en el desarrollo del presente trabajo.

Tabla 1. Proyectos anteriores sobre gestión de demanda en el sector residencial.

Proyecto sobre Gestión Activa	País de aplicación	Objetivos
[10] Energy-Smart Pricing Plan (ESPP)	EEUU (2004)	Conocer la respuesta de los consumidores residenciales ante los precios horarios impuestos por el mercado eléctrico, tipo de acciones tomadas por los consumidores y definición de la magnitud del efecto.
[11] Proyecto GAD: Gestión Activa de la Demanda	España (2010)	Investigación y desarrollo de herramientas que ayuden a reducir la factura eléctrica del consumidor, la búsqueda de dispositivos para informar al usuario del precio y origen de la energía.
[12] Newmarket Hydro Time-of-Use Pricing Pilot	Canadá (2008)	Proporcionar a los consumidores información sobre cómo gestionar el consumo de electricidad mediante el traslado del uso de los aparatos a los periodos de menor consumo.

Introduction

In order to be considered sustainable, an energy model must satisfy and reconcile economic, social and environmental development without negatively affecting the growth of future generations [1]. The current energy model is deficient in all three aspects. Firstly, economic unsustainability is highlighted by rising electricity prices. On the other hand, in the social sphere, it is manifested through energy poverty in households, represented as low income, low energy efficiency in housing and high energy prices, and, finally, at the environmental level, as the use of less efficient energy sources is promoted. In addition, the negative impact of the COVID-19 pandemic has had global repercussions on the energy sector: the number of people with access to electricity in developing countries, such as Africa, which has been growing for years, appears to be decreasing, and the resulting deficit in developed governments means that more than 100 million people are unable to pay their electricity bills [2].

However, the European legislative framework has tried to incentivize and accelerate sustainable development in order to obtain a more competitive and innovative economy, promoting research and the development of projects in the area of renewable energies, energy savings and efficiency, smart grids and the introduction of electric vehicles [3]. Furthermore, through Law 24/2013 on the electricity sector, methods of economic and financial sustainability were introduced through charges and tolls, and new obligations were defined for self-consumption and renewable energy generation [4]. Later, new measures were incorporated through Royal Decree 244/2019 and Circular 3/2020, which represent a step forward for self-consumption, and also an indirect resource for the promotion of energy efficiency and savings by actively involving consumers [5] [6].

Residential sector involvement in the energy context is important due to the fact that it is attributed with a demand of approximately 25% of electricity consumption in Spain [7]. Furthermore, in 2019, the maximum annual energy demand occurred in the month of January between 20 and 21 hours, with most of the consumption being given by the residential sector with 34.5% of the total demand [8]. The main challenges facing demand management include reducing the peak period of the demand curve, integrating renewable energies, and encouraging consumers to actively participate in active demand management [9]. The promotion of efficient consumption in households, influencing individual users to shift consumption from peak hours to other periods with surplus generation is a key factor for the new energy model. Different countries have developed projects related to active management in the residential sector in order to find out what effects it produces on the demand curve, the scope it can have on the energy system or to compose segmented demand by analysing the factors that influence it, such as seasonality and working hours, among others. These projects serve as a basis for the development of subsequent projects. Table 1 shows some of these projects that have influenced the development of this methodology.

Table 1. Previous projects on demand management in the residential sector.

Project on Active Management	Country of application	Objectives
[10] Energy-Smart Pricing Plan (ESPP)	EEUU (2004)	Identify the response of residential consumers to hourly prices imposed by the electricity market, type of actions taken by consumers and definition of the magnitude of the effect.
[11] GAD Project: Active Demand Management	Spain (2010)	Research and development of tools to help reduce the consumer's electricity bill, the search for devices to inform the user of the price and origin of energy.
[12] Newmarket Hydro Time-of-Use Pricing Pilot	Canada (2008)	Provide consumers with information on how to manage electricity consumption by shifting the use of appliances to off-peak periods.

Reducción del consumo energético en una vivienda residencial mediante la gestión activa del consumidor

La capacidad para gestionar la demanda es un proceso complejo que depende del sector en el que se encuentre el usuario y la flexibilidad que permita, así pues, el sector residencial ofrece más versatilidad para actuar sobre la curva de demanda que el sector industrial o servicios [13]. Tal es así que los nuevos sistemas de monitorización para el ahorro energético en el sector residencial pueden incluso mejorar los hábitos de los usuarios [14], además de mejorar los niveles de confort y bienestar. Por otro lado, el potencial de crecimiento de la demanda de energía de los dispositivos conectados en edificios se espera que ascienda significativamente para el 2022 en la Unión Europea [15], por lo que esto supone una oportunidad para el desarrollo de la gestión inteligente y activa de la demanda eléctrica.

La involucración activa del consumidor en la gestión de la demanda es uno de los retos que debe afrontar la sociedad para ser partícipes y conscientes del nuevo modelo energético en el que el papel del consumidor adopta la figura clave de prosumidor. Los resultados obtenidos tras el lanzamiento de una encuesta sobre conceptos básicos de gestión de demanda a nivel residencial y concienciación y predisposición a cambio de hábitos para conseguir un ahorro energético y económico fueron determinantes para el desarrollo de la metodología que redujera el consumo energético de la red eléctrica y las emisiones producidas en la vivienda. Principalmente pudo concluirse que más del 80% de los encuestados estarían dispuestos a cambiar sus hábitos para conseguir el ahorro eléctrico y energético, y el 93,2% determinó que podría adoptar medidas para reducir el consumo en su rutina diaria si estuviera asesorado. Esta información se asienta como base al desarrollo de una metodología que pretende ayudar, asesorar y alentar a la sociedad a tomar hábitos que sean beneficiosos para ellos mismos y para el sistema eléctrico. Además, incorporando la posibilidad de adaptarla y flexibilizarla en función de las prioridades del usuario final haciendo de ésta un mecanismo de gestión activa de la demanda.

Metodología para la gestión activa de la demanda en el sector residencial

El principal objetivo de la metodología es el de crear una herramienta que muestre al pequeño consumidor cómo utilizar la energía y le asista en la planificación sostenible de ésta, ya sea un consumidor de energía de la red o un prosumidor auto consumiendo su propia energía. Además, permite al consumidor identificar sus perfiles de consumo, analizarlos y planificar sus cargas con el menor impacto energético y económico. El consumidor adopta un papel esencial en la metodología ya que es quien establece las prioridades de consumo, introduce las horas a las que se utilizan los aparatos, permite desplazar consumos de horas punta a horas valle y, al fin y al cabo, es partícipe de un uso más eficiente de los recursos de los que dispone en la vivienda. Por otro lado, a través de los indicadores y parámetros obtenidos tras aplicar la metodología puede ser más consciente de la curva de consumo que realiza y de la consecuente compra de energía que supone. En la siguiente ilustración se observa de forma esquemática cuál es el principal objetivo de la metodología, los mecanismos empleados para conseguirlo y los beneficios obtenidos tanto para el consumidor como para el nuevo modelo energético.

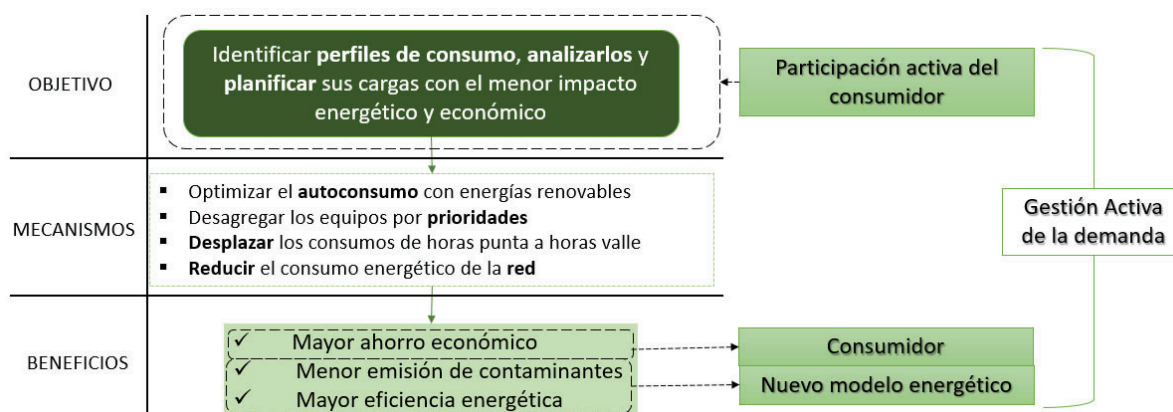


Ilustración 1. Objetivos, mecanismos y beneficios de la metodología a desarrollar.

Energy consumption reduction in a residential dwelling through active consumer management

The potential to manage demand is a complex process which depends on the sector in which the user is located and the flexibility it allows, thus, the residential sector offers more versatility to act on the demand curve than the industrial or services sector [13]. Therefore, new monitoring systems for energy savings in the residential sector can even improve users' habits [14], as well as improve comfort and well-being levels. On the other hand, the potential growth in energy demand from connected devices in buildings is expected to rise significantly by 2022 in the European Union [15], providing an opportunity for the development of smart and active power demand management.

The active involvement of consumers in demand management is one of the challenges that society must face in order to participate in and be aware of the new energy model in which the role of the consumer adopts the key figure of prosumer. The results obtained after the launch of a survey on basic concepts of demand management at residential level and awareness and predisposition to change habits to achieve energy and economic savings were essential for the development of the methodology to reduce the energy consumption of the electricity grid and the emissions produced in the home. Mainly it could be concluded that more than 80% of the respondents would be willing to change their habits in order to achieve electricity and energy savings, and 93.2% determined that they could adopt measures to reduce consumption in their daily routine if they were advised. This information forms the basis for the development of a methodology that aims to help, advise and encourage society to adopt habits that are beneficial to themselves and the electricity system. It also incorporates the possibility of adapting it and making it more flexible according to the end user's priorities, making it an active demand management mechanism.

Methodology for active demand management in the residential sector

The main aim of the methodology is to create a tool that shows the small consumer how to use energy and assists them in sustainable energy planning, whether they are a consumer of energy from the grid or a prosumer self-consuming their own energy. It also allows the consumer to identify their consumption pattern, analyse it and plan their loads with the lowest energy and economic impact. The consumer assumes an essential role in the methodology, as he or she establishes consumption priorities, introduces the hours at which appliances are used, allows consumption to be shifted from peak to off-peak hours and, in the end, is involved in a more efficient use of the resources available to him or her in the home. On the other hand, through the indicators and parameters obtained after applying the methodology, they can be more aware of their consumption curve and the consequent energy purchases that this entails. The following figure shows schematically what the main objective of the methodology is, the mechanisms used to achieve it and the benefits obtained both for the consumer and for the new energy model.

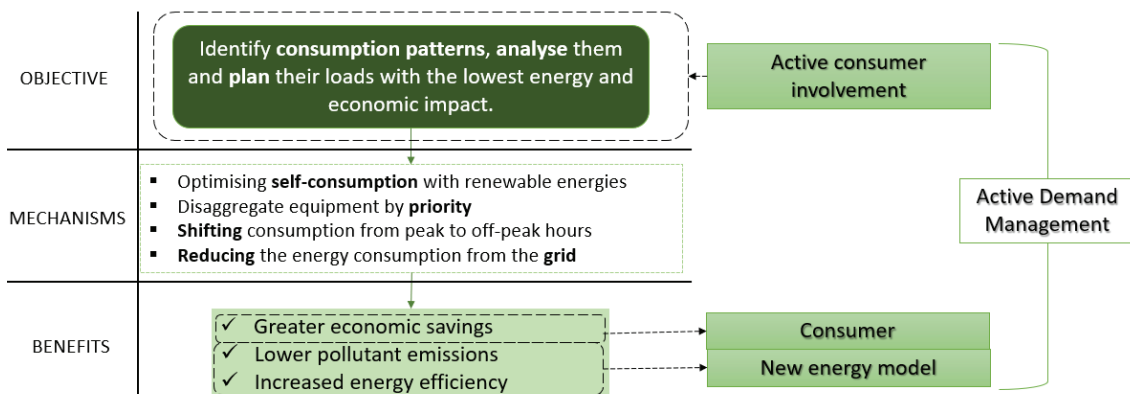


Figure 1. Objectives, mechanisms and benefits of the methodology to be developed.

El principal objeto de aplicación de esta metodología es una vivienda con tecnologías de autoconsumo y con excedentes de energía acogido a compensación. Las variables de entrada necesarias para optimizar el consumo de energía y obtener resultados son:

- Histórico de demanda de energía de la vivienda.
- Histórico de generación de energía producido para la vivienda.
- Precios actualizados de la energía.
- Prioridades en el uso de electrodomésticos, a definir por el usuario.
- Características de las tecnologías de generación y almacenamiento (si aplica).
- Tipo de tarifa eléctrica de la vivienda (metodología ideada principalmente para la tarifa Precio Voluntario al Pequeño Consumidor – PVPC).

Involucrando todas las variables anteriormente mencionadas, siempre dentro de la normativa vigente, se propone realizar una optimización energética con el fin de reducir el consumo energético de la vivienda y, consecuentemente, reducir el coste de la factura eléctrica. El esquema que se presenta en la siguiente ilustración sintetiza las variables de entrada involucradas y, operando de acuerdo a los algoritmos de optimización, darán lugar a unos indicadores económicos y energéticos que permitirán valorar los resultados obtenidos.

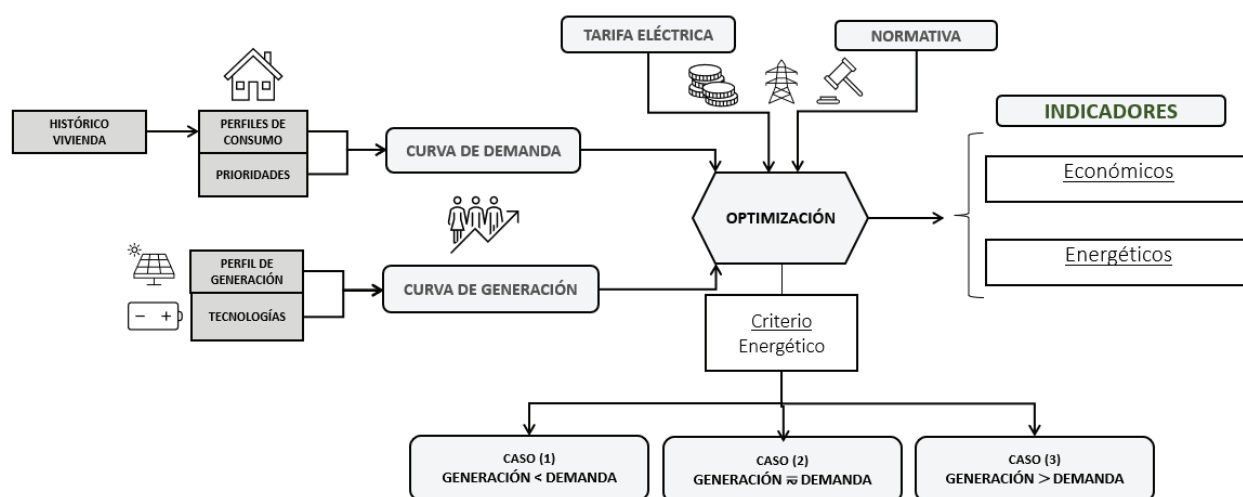


Ilustración 2. Interacción entre las variables de la metodología

La optimización se realizará horariamente y en función de los valores obtenidos por las variables del histórico de datos de la demanda y la generación horaria producida por la instalación, podrá darse uno de los tres casos que se definen a continuación:

Tabla 2. Casos horarios posibles en la optimización horaria.

CASOS POSIBLES POR HORA		
Caso 1	Generación < Demanda	El perfil de generación (PG) tiene valores inferiores a los del perfil de demanda (PD) para dicha hora. Instantáneamente sólo podrá abastecerse parcialmente la demanda y deberá estudiarse si existe energía almacenada en las baterías para abastecer la demanda completamente.
Caso 2	Generación ≈ Demanda	Cuando el perfil de generación (PG) tiene valores similares a los del perfil de demanda (PD) del usuario para la hora de estudio, la demanda podrá ser abastecida completamente pero no existirá excedente de energía.
Caso 3	Generación > Demanda	El perfil de generación (PG) tiene valores superiores a los del perfil de demanda (PD) para dicha hora. En este caso se podrá abastecer completamente la demanda del consumidor y existirá un excedente de energía .

The main focus of application of this methodology is a house with self-consumption technologies and with energy surplus under compensation. The input parameters necessary to optimise energy consumption and obtain results are:

- History of energy demand of the dwelling.
- History of energy generation produced for the dwelling.
- Updated energy prices.
- Priorities in the use of household appliances, to be defined by the user.
- Characteristics of generation and storage technologies (if applicable).
- Type of electricity rate for the dwelling (methodology designed mainly for the Voluntary Price for Small Consumers - PVPC).

Involving all the aforementioned variables, always in compliance with current regulations, it is proposed to carry out an energy optimisation in order to reduce the energy consumption of the house and, consequently, reduce the cost of the electricity bill. The scheme presented in the following illustration summarises the input variables involved and, operating in accordance with the optimisation algorithms, will result in economic and energy indicators that will allow the results obtained to be evaluated.

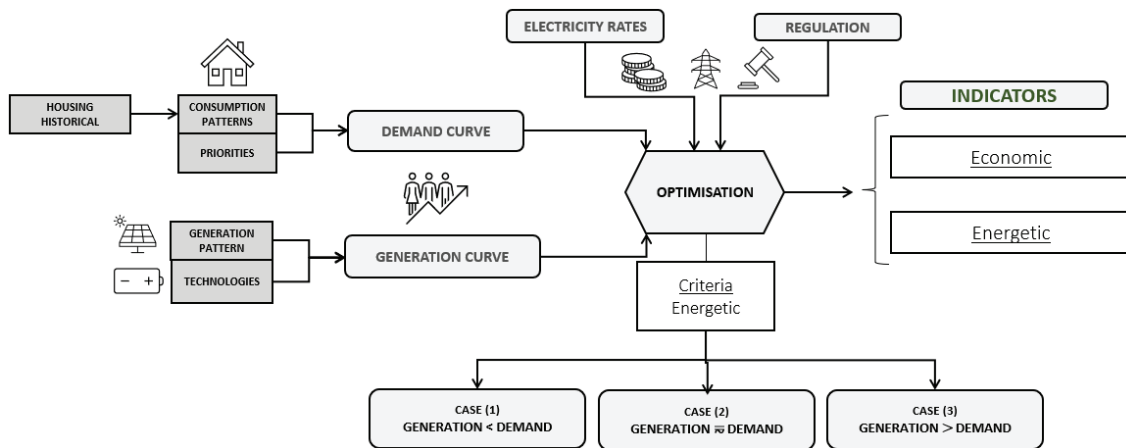


Figure 2. Interaction between the parameters of the methodology

The optimisation will be carried out on an hourly basis and depending on the values obtained from the historical demand data variables and the hourly generation produced by the installation, one of the three cases defined below may occur:

Table 2. Possible time cases in the hourly optimisation.

POSSIBLE CASES PER HOUR		
Case 1	Generation < Demand	The generation pattern (PG) has lower values than the demand pattern (PD) for that hour. Instantly only part of the demand can be supplied and it should be studied whether there is energy stored in the batteries to supply the demand completely.
Case 2	Generation ≈ Demand	When the generation pattern (PG) has similar values to those of the user's demand pattern (PD) for the hour under study, the demand may be fully supplied but there will be no energy surplus.
Case 3	Generation > Demand	The generation pattern (PG) has higher values than the demand pattern (PD) for that hour. In this case the consumer's demand can be fully supplied and there will be a surplus of energy.

Los casos anteriormente mencionados en la tabla 2 quedan representados en las siguientes ilustraciones que dan lugar al algoritmo de implementación de la metodología. Estos diagramas serán ejecutados horariamente, por lo que la optimización deberá realizarse para cada una de las horas del día, según las prioridades del consumidor para cada hora y del precio establecido de la energía según el mercado eléctrico.

En el primer caso, en el que la generación de energía renovable es inferior a la demanda de la vivienda, si la vivienda dispone de **baterías** se utilizará la energía disponible en las mismas y, en caso de que ésta no sea suficiente, en función de las prioridades dadas por el consumidor se abastecerán aquellos equipos con **prioridades** más elevadas. Los equipos que no hayan podido encenderse se **trasladarán** a horas en las que exista excedente en las baterías y, además, en las que el consumidor esté dispuesto a utilizarlas. Por último, si los dispositivos no pueden desplazarse ya sea por no existir excedente o porque el consumidor no lo permita, se **comprará** energía de la red. Si la generación es aproximadamente igual a la demanda no se tomará ninguna medida

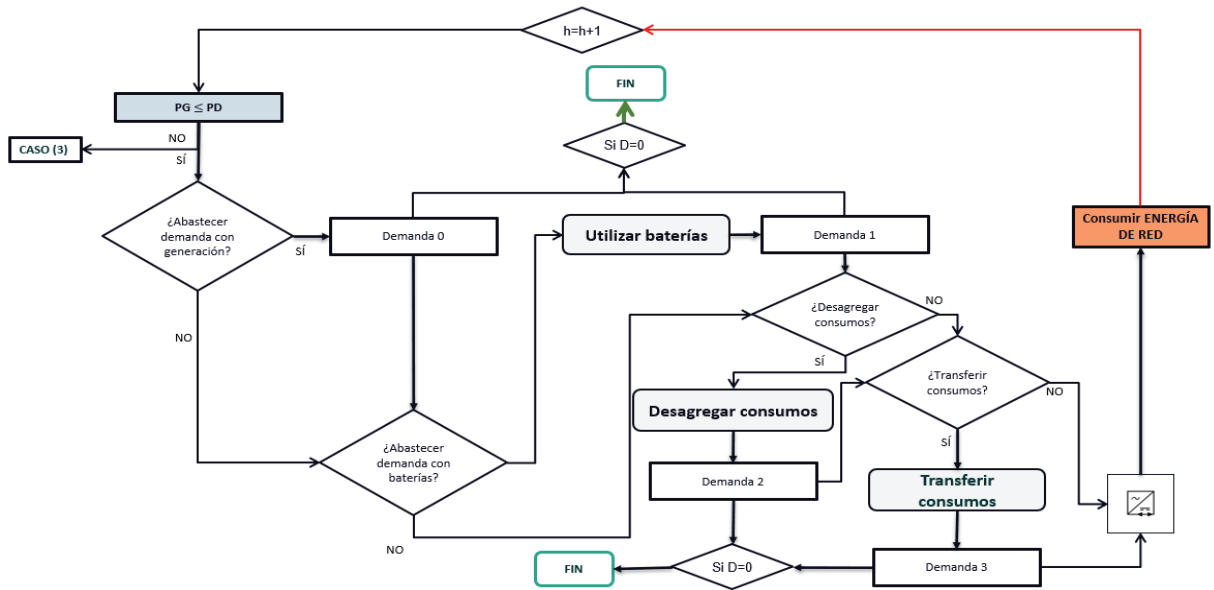


Ilustración 3. Algoritmo de funcionamiento para los casos 1 y 2.

En el último caso en el que existe excedente de energía y la demanda se cubre totalmente, las principales medidas serán, en primer lugar, **carga** de las baterías. Si continúa existiendo energía excedente se abastecerán **consumos secundarios** definidos por el usuario y, finalmente, se **verterá energía a la red** con la consecuente retribución económica.

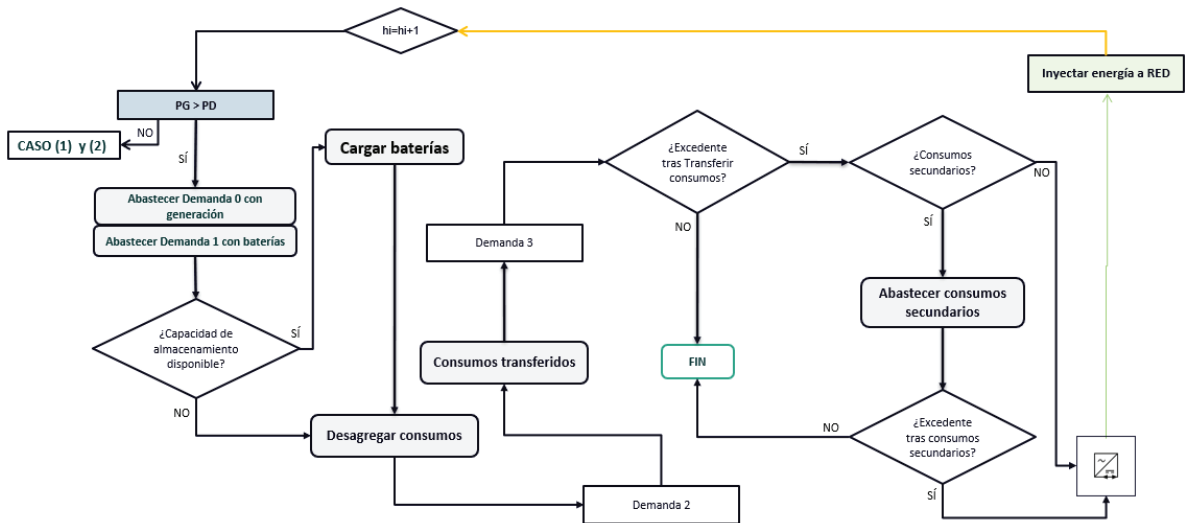


Ilustración 4. Algoritmo de funcionamiento para el caso 3.

The cases indicated above in table 2 are represented in the following figures that lead to the implementation algorithm of the methodology. These diagrams will be executed on an hourly basis, so the optimisation must be carried out for each of the hours of the day, according to the consumer's priorities for each hour and the established price of energy according to the electricity market.

In the first case, in which the generation of renewable energy is lower than the demand of the dwelling, if the dwelling has **batteries**, the energy available in them will be used and, if this is not sufficient, depending on the **priorities** given by the consumer, the equipment with the highest priorities will be supplied. Equipment that could not be switched on will be **shifted** to times when there is a surplus in the batteries and also when the consumer is willing to use them. Finally, if devices cannot be moved either because there is no surplus or because the consumer does not allow it, power will be **purchased** from the grid. If generation is approximately equal to demand, no measures will be taken.

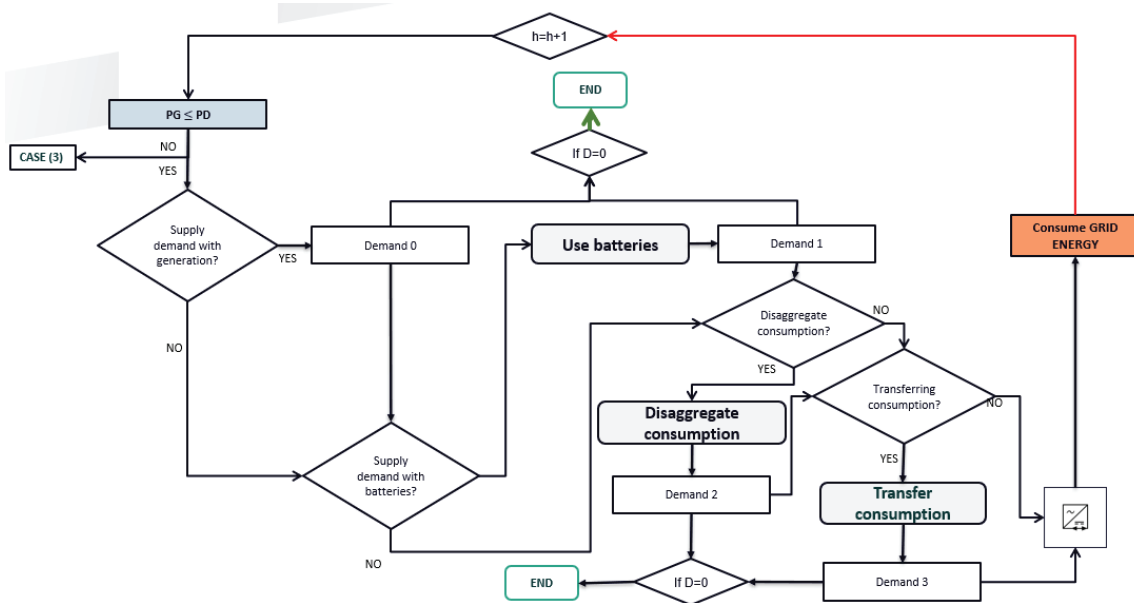


Figure 3. Operating algorithm for cases 1 and 2.

In the latter case, where there is surplus energy and demand is fully covered, the main measures will be, firstly, **charging of the batteries**. If surplus energy continues to exist, **secondary consumption** defined by the user will be supplied and, finally, energy will be **fed into the grid** with the consequent economic remuneration.

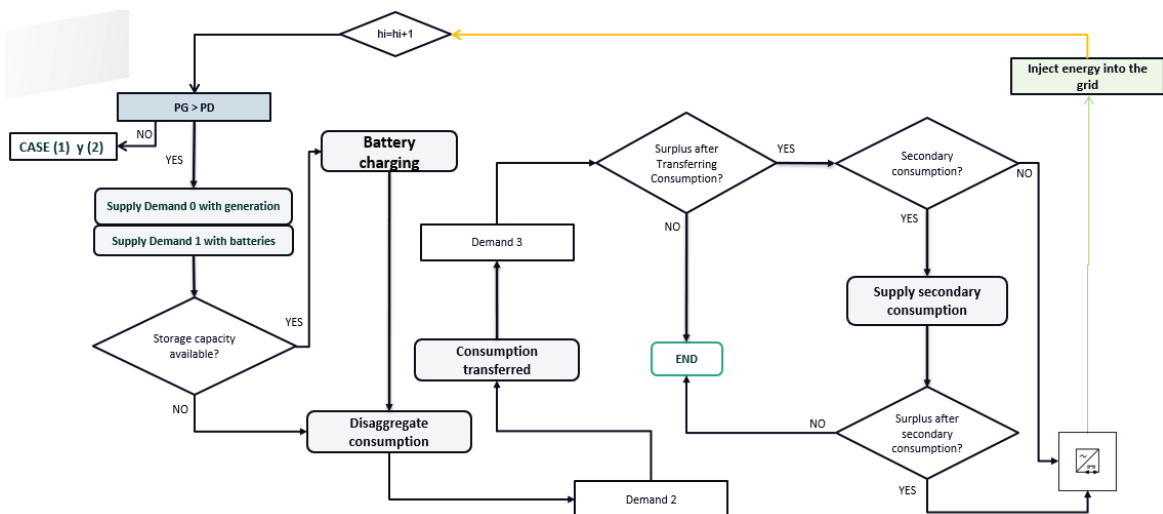


Figure 4. Operating algorithm for case 3.

Resultados

Con el fin de obtener resultados y valorar la metodología, se aplican los algoritmos diseñados a una vivienda con autoconsumo con paneles solares y baterías para almacenamiento situada en un municipio de la Comunidad Valenciana. Se realiza el estudio para un día laboral de invierno y verano, y para un día festivo de invierno y verano. Las curvas de generación, demanda y tarifas, así como la asignación de prioridades son datos que proporciona el propietario.

Como indicador energético se analiza el **abastecimiento de la demanda** mediante el uso de las **tecnologías renovables**. Se obtiene que el uso de las baterías permite abastecer más de un 30% de la demanda con energías renovables flexibilizando el uso de la energía generada, incluso en los casos más desfavorables de invierno. Además, la demanda máxima abastecida con la generación renovable fue de un 96% mientras que la mínima fue de un 38%, por lo que son valores muy aceptables. La tabla que se muestra a continuación recoge los resultados obtenidos para el indicador energético.

Tabla 3. Indicador energético: resultados obtenidos.

DEMANDA ABASTECIDA (%)					
MEDIDAS PROPUESTAS		VERANO		INVIERNO	
		LABORAL	FESTIVO	LABORAL	FESTIVO
Origen renovable	Generación	57%	63%	18%	5%
	Baterías	30%	32%	30%	30%
	Desagregar	0%	0%	3%	3%
	Trans. Baterías	1%	1%	0%	0%
Total renovable		88%	96%	51%	38%
Compra Red		12%	4%	49%	62%

En cuando al indicador económico, se trata del ahorro producido en la factura eléctrica tras la aplicación de la metodología. Se deduce que, a través del uso de baterías, los valores de ahorro son muy elevados, siendo el mínimo valor un ahorro de más de la mitad del coste de compra para el día de estudio. Conseguir un ahorro de más del 50% en condiciones desfavorables supone un gran logro, ya que en condiciones más favorables podría abastecerse la demanda casi en su totalidad. En la tabla 4 se muestran los valores de ahorro obtenidos para cada uno de los días de estudio.

Tabla 4. Indicador económico: resultados obtenidos.

AHORRO EN LA COMPRA DE ENERGÍA (%)			
VERANO		INVIERNO	
LABORAL	FESTIVO	LABORAL	FESTIVO
94,98%	95,97%	55,66%	46,98%

Conclusiones

- En el nuevo modelo energético se atribuye al consumidor doméstico un papel clave en la gestión activa de la demanda energética. Debe promoverse concienciación, proporcionar información clara y asesoramiento para la adopción de hábitos sostenibles.
- Desarrollo de una metodología basada en escenarios sostenibles adaptada a las prioridades específicas de cada consumidor doméstico.
- La metodología permite el ahorro económico en la factura eléctrica, mayor aprovechamiento energético y reducción de emisiones contaminantes.
- Existe la posibilidad de integrar este tipo de herramienta en viviendas inteligentes para gestión de la demanda.

Results

In order to obtain results and evaluate the methodology, the algorithms designed are applied to a home with self-consumption with solar panels and batteries for storage located in a municipality in the Valencian Community. The study is carried out for a winter and summer working day, and for a winter and summer holiday. The generation, demand and tariff curves, as well as the assignment of priorities are data provided by the owner.

As an energy indicator, the supply of demand through the use of renewable technologies is analysed. It is obtained that the use of batteries allows more than 30% of the demand to be supplied with renewable energies, making the use of the energy generated more flexible, even in the most unfavourable cases of winter. Furthermore, the maximum demand supplied with renewable generation was 96%, while the minimum was 38%, which means that these are very acceptable values. The table below shows the results obtained for the energy indicator.

Table 3. Energy indicator: results obtained.

SUPPLIED DEMAND (%)					
PROPOSED MEASURES		SUMMER		WINTER	
		WORKING	HOLIDAY	WORKING	HOLIDAY
Renewable source	Generation	57%	63%	18%	5%
	Batteries	30%	32%	30%	30%
	Disaggregate	0%	0%	3%	3%
	Trans. Batteries	1%	1%	0%	0%
Total renewable		88%	96%	51%	38%
Purchase Grid		12%	4%	49%	62%

As for the economic indicator, this is the saving produced in the electricity bill after the application of the methodology. It can be deduced that, through the use of batteries, the saving values are very high, the minimum value being a saving of more than half of the purchase cost for the study day. Achieving savings of more than 50% under unfavourable conditions is a great achievement, since under good conditions the demand could be almost fully supplied. Table 4 shows the savings values obtained for each of the study days.

Table 4. Economic indicator: results obtained.

SAVINGS ON ENERGY PURCHASES (%)			
SUMMER		WINTER	
WORKING	HOLIDAY	WORKING	HOLIDAY
94,98%	95,97%	55,66%	46,98%

Conclusions

- The new energy model assigns a key role in the active management of energy demand to the domestic consumer. Awareness raising, clear information and advice for the adoption of sustainable habits should be promoted.
- Development of a methodology based on sustainable scenarios adapted to the specific priorities of each household consumer.
- The methodology allows economic savings on electricity bills, greater energy efficiency and a reduction in pollutant emissions.
- There is the possibility of integrating this type of tool in smart homes for demand management.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- [1] Energía y Sociedad. (2021). Manual de Energía: Insostenibilidad del sistema energético y vías de solución. Obtenido de <https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/1-6-insostenibilidad-del-sistema-energetico-y-vias-de-solucion/>
- [2] Internal Energy Agency (IEA). (2020). Report extract Outlook for energy demand
- [3] «BOE» núm. 55. (5 de marzo de 2011). Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible. Obtenido de «BOE» núm. 55, de 05/03/2011.: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-4117>
- [4] «BOE» núm. 310. (27 de diciembre de 2013). Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-13645>.
- [5] «BOE» núm. 66. (9 de Marzo de 2021). Real Decreto 148/2021, de 9 de marzo, por el que se establece la metodología de cálculo de los cargos del sistema eléctrico.
- [6] Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (24 de enero de 2021). Circular 3/2020, de 15 de enero, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología para el cálculo de los peajes de transporte y distribución de electricidad.
- [7] IDAE. (2011). Análisis del consumo energético del sector residencial en España.
- [8] REE. (2019). El sistema eléctrico español .
- [9] GO15. Reliable and Sustainable Power Grid. (s.f.). Flexibilidad de la demanda (FLEXILWATTS).
- [10] Cooperative, C. E. (2004). Evaluation of the Energy-Smart Pricing Plan. Chicago.
- [11] Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). (2010). Proyecto Gestión Activa de la Demanda.
- [12] Ltd, N. H. (2007). Evaluation of time-of-use pricing pilot. Toronto.
- [13] Jiménez, R. (2013). *Gestión activa de la demanda en el sector residencial. Estado del arte de los proyectos en curso*. Madrid: Universidad Carlos III.
- [14] Healy, W. (2010). *Building Sensors and Energy Monitoring Systems*.
- [15] Giraldo-Soto, C., Erkoreka, A., Mora, L., Uriarte, I., & del Portillo, L. A. (2018). Monitoring System Analysis for Evaluating a Building's Envelope Energy Performance through Estimation of Its Heat Loss Coefficient. *US National Library of Medicine National Institutes of Health*.

POTENCIAL DE DECARBONIZACIÓN EN LAS PYMES. RESULTADOS INICIALES DEL PROYECTO SMEMPOWER.

ENERGY DECARBONISATION IN SMEs. INITIAL RESULTS IN SMEMPOWER PROJECT

Elisa Peñalvo-López

Doctora por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: elpealpe@upvnet.upv.es
Ph D. from the Universitat Politècnica de València. Institute of Energy Engineering of the UPV. Polytechnic University of Valencia. Street: Camino de Vera, 46022 Valencia, Spain. Email: elpealpe@upvnet.upv.es

Javier Cárcel-Carrasco

Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarcl@csa.upv.es
Researcher at the Institute of Materials; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. Associated Professor. PhD in Industrial Engineering, UPV. E-mail: elpealpe@upvnet.upv.es

Vicente León Martínez

Investigador en el Instituto de Ingeniería Energética; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Catedrático de Escuela Universitaria, Doctor en Ingeniería Industrial por la UPV. E-mail: vleon@die.upv.es
Researcher at the Institute for Energy Engineering; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. Associated Professor. PhD in Industrial Engineering, UPV. E-mail: vleon@die.upv.es

Iván Valencia Salazar

Doctor por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: ivalencias@die.upv.es
Ph D. from the Universitat Politècnica de València. Institute of Energy Engineering of the UPV. Polytechnic University of Valencia. Street: Camino de Vera, 46022 Valencia, Spain. Email: ivalencias@die.upv.es

Resumen

La eficiencia energética en las pymes representa uno de los pilares fundamentales de la transición energética en el que está inmersa Europa y, por tanto, España. El proyecto europeo "SMEmPower Efficiency" surge como iniciativa para fomentar las auditorías energéticas dentro de un sector muy impermeable. Este proyecto tiene por objeto apoyar a las PYMES en la promoción e impulso de auditorías energéticas y medidas de eficiencia energética.

El trabajo que se presenta a continuación responde a la primera edición del proyecto donde se ha realizado 49 auditorías energéticas en PYMES de 8 países europeos, entre los que se encuentra España.

Abstract

Energy efficiency in SMEs represents one of the fundamental pillars of the energy transition in which Europe, and therefore Spain, is immersed. The European project "SMEmPower Efficiency" arises as an initiative to promote energy audits within a very impervious sector. This project aims to support SMEs in promoting and encouraging energy audits and energy efficiency measures.

The work presented below responds to the first edition of the project where 49 energy audits have been carried out in SMEs in 8 European countries, including Spain.

Keywords

SMEs, energy efficiency, optimisation, EU Project, H2020

Introducción

Las pequeñas y medianas empresas (PYME) representan el 99% de las empresas, por lo que son una parte fundamental de la economía mundial. Las PYMES proporcionan alrededor del 60% del empleo y contribuyen entre el 16% y el 80% del producto interior bruto (PIB), dependiendo de la estructura económica del país. Considerando su amplia participación en la economía mundial, el aumento de su eficiencia energética ofrece un valor considerable para las economías de los países, la sociedad y las propias PYME. Sin embargo, la aplicación de las mejoras de eficiencia energética en las PYME se ha ido retrasando debido a la falta de información, conocimientos técnicos y financiación [1].

A modo individual, las PYME consumen cantidades modestas de energía, pero colectivamente su demanda energética es considerable. Según estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), las PYMEs consumen más del 13% de la demanda total de energía mundial. Implementar medidas de eficiencia energética que sean rentables podría reducir hasta un 30% de su consumo, lo que supone más energía de la que consumen Japón y Corea juntos al año. Por consiguiente, la mejora de la eficiencia energética en las PYMEs, no solamente es importante para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones globales, sino que también es clave para aumentar su competitividad como empresa. Además de reducir los costes energéticos de las PYMEs, una mayor eficiencia energética puede mejorar la calidad y la productividad de sus productos, así como abrir nuevas oportunidades de negocio. Incluso cuando los precios de los combustibles son bajos, la volatilidad de los precios de la energía y la incertidumbre obstaculizan el crecimiento de las PYMEs; la eficiencia energética puede reducir la exposición [2].

La Unión Europea (UE) promueve activamente la eficiencia energética y la integración de las fuentes renovables en el tejido empresarial con el fin de lograr una economía neutra en emisiones e impactos negativos sobre el medioambiente. En este sentido, la UE ha fijado nuevos objetivos para 2030 que son más ambiciosos en cuanto a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el aumento de la cuota de energías renovables y la mejora de la eficiencia energética [3, 4]

En Europa se han desarrollado políticas energéticas para aumentar la concienciación e información de las PYMEs, así como para facilitar la adopción de Sistemas de Gestión de la Energía (EMS) en las PYMEs [5, 6]. La Directiva de Servicios Energéticos (ESD) y, posteriormente, la Directiva de Eficiencia Energética (EED) promueven las auditorías energéticas como herramienta principal para la recolección y monitorización de los datos energéticos, crear y compartir conocimientos sobre las opciones tecnológicas y la promoción de medidas rentables para el ahorro de energía [7, 8].

Asimismo, la Directiva de Eficiencia Energética 2012/27/UE solicita a los Estados Miembros de la UE el desarrollo de objetivos nacionales indicativos de eficiencia energética y la publicación de un Plan Nacional de Acción para la Eficiencia Energética (PNAEE) trianual. Respondiendo a esta petición, España publicó su plan nacional a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [9, 10]. En el contexto de esta Directiva, se han adoptado varias medidas importantes en los Estados miembros para mejorar la eficiencia energética en Europa [10], entre las que se incluyen:

- reducción anual del 1,5% de las ventas nacionales de energía;
- renovación energética de al menos el 3% anual de los edificios propiedad de las administraciones públicas y ocupados por ellos;
- estrategias nacionales de renovación de edificios a largo plazo;
- certificados obligatorios de eficiencia energética para la venta y alquiler de viviendas y locales
- adopción de estándares mínimos sobre eficiencia energética y etiquetado en productos como calderas, electrodomésticos, iluminación y televisores (etiqueta energética y diseño ecológico)
- instalación de contadores inteligentes de electricidad (200 millones) y de gas (45 millones) para el 2020;

- medidas obligatorias para las empresas energéticas de reducir el consumo anual de sus consumidores finales en un 1,5% anual.

Sin embargo, en la transición hacia una economía basada en la decarbonización, se identifican todavía una serie de barreras relevantes para las PYMEs: recursos limitados, conocimientos técnicos; culturas organizativas dominadas por el propietario-gerente; y bajo nivel de concienciación en su papel en la economía baja en carbono. Dos conclusiones son especialmente relevantes [11]: las creencias y valores individuales, ya que las funciones de gestión se concentran en una sola persona o en muy pocas; y las empresas más pequeñas tenderán a tener menos tiempo y habilidades técnicas para considerar las oportunidades de eficiencia energética, para cribar y procesar la información relevante

En esta línea, la UE ha aumentado la cantidad de fondos públicos disponibles para la eficiencia energética con el fin de lograr los objetivos planteados en la “*Energy Union*” y apoyar la transición a un sistema energético limpio. No obstante, también ponen de manifiesto que es necesario promover la financiación privada, para lo cual calculan que serán necesarios 177.000 millones de euros adicionales al año durante el periodo 2021-2030 para alcanzar los objetivos energéticos y climáticos de la UE para 2030 [12].

En este contexto, el proyecto "SMEmPower Efficiency", financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea, plantea un enfoque holístico para abordar diferentes barreras individuales, organizativas e institucionales. El objetivo del proyecto es facilitar a las PYMEs la realización de auditorías energéticas y aplicar las medidas de eficiencia energética propuestas. Está dirigido a las PYME de ocho países de la Unión Europea: Alemania, Chipre, Eslovenia, España, Grecia, Italia, Reino Unido y Rumanía.

Introduction

Small and medium-sized enterprises (SMEs) account for 99% of businesses around the globe, making them a key part of the global economy. SMEs provide around 60% of employment and contribute between 16% and 80% of gross domestic product (GDP), depending on the economic structure of the country. Considering their large share of the global economy, increasing their energy efficiency offers considerable value for the economies of countries, society and SMEs themselves. However, the implementation of energy efficiency improvements in SMEs is lagging behind due to lack of information, know-how and financing. [1].

Individually, SMEs consume modest amounts of energy, but collectively their energy demand is considerable. According to IEA estimates, SMEs consume more than 13% of total global energy demand. Implementing cost-effective energy efficiency measures could reduce their consumption by up to 30%, which is more energy than Japan and Korea combined consume per year. Improving energy efficiency in SMEs is therefore not only important for achieving global emission reduction targets, but is also key to increasing their profitability and business competitiveness. In addition to reducing SMEs' energy costs, improved energy efficiency can improve the quality and performance of their products and enable new business opportunities. Even when fuel prices are low, energy price volatility and uncertainty hamper SME growth; energy efficiency can reduce exposure [2].

European Union (EU) continues to actively promote energy efficiency and the integration of renewable sources in order to achieve a climate-neutral economy and a more competitive, secure and sustainable energy system. In this regard, the EU has set new targets for 2030 that are more ambitious in terms of reducing greenhouse gas (GHG) emissions, increasing the share of renewable energies, and improving energy efficiency [3, 4].

Over the last few years many energy policies have been developed to overcome information barriers and facilitate the adoption of Energy Management Systems (EMS) in SMEs [5, 6]. The Energy Services Directive (ESD) and, later, the Energy Efficiency Directive (EED) have promoted energy audits as a main tool for collecting and monitoring energy data, creating and sharing knowledge about technology options and promoting cost-effective energy saving measures [7, 8].

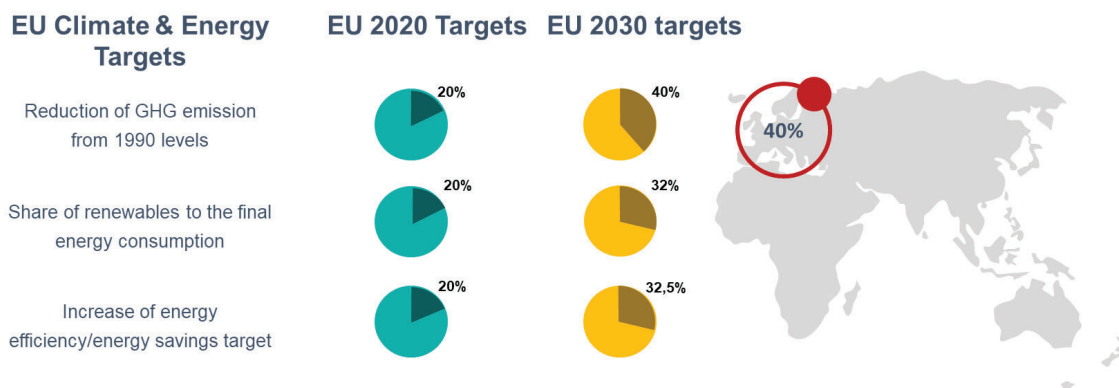


Fig. 1: Objetivos Energéticos y Cambio Climático para el 2020 y 2030.

Fig. 1: EU climate and energy targets for 2020 and 2030

Likewise, the Energy Efficiency Directive 2012/27/EU requests EU Member States to develop indicative national energy efficiency targets and publish a three-year National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP). Responding to this request, Spain published its national plan through the Institute for Energy Diversification and Savings [9, 10]. In the context of this Directive, several important measures have been taken in the Member States to improve energy efficiency in Europe [10], including:

- annual reduction of 1.5% of national energy sales.
- energy renovation of at least 3% per year of buildings owned and occupied by public administrations.
- long-term national building renovation strategies.
- mandatory energy efficiency certificates accompanying the sale and rental of buildings.
- adoption of minimum energy efficiency standards and labelling on products such as boilers, appliances, lighting and televisions (energy labelling and eco-design).
- installation of smart meters for electricity (200 million) and gas (45 million) by 2020.
- mandatory measures for energy companies to reduce the annual consumption of their end consumers by 1.5% per year.

Tabla 1: Objetivos de Eficiencia Energética para el 2020 / Table 1. EU Energy Efficiency Targets 2020

2020-Targets	EU	Cyprus	Germany	Greece	Italy	Romania	Slovenia	Spain	UK
Energy-Efficiency									
Final-Energy-Consumption (Mtoe)	1.086	1,8	194,3	18,4	124	30,3	5,1	91	129,2
Primary-Energy-Consumption (Mtoe)	1.483	2,2	274,7	24,7	158	43	7,1	128	177,6
Greenhouse-Gas-Emissions									
Overall-greenhouse-gas-emissions-compared-to-2005 (compared-to-1990-levels)	-20%	-5%	-14%	-4%	-13%	+19%	+4%	-27%	-16%

However, in the transition to a decarbonization-based economy, a number of relevant barriers are still identified for SMEs: limited resources, technical expertise; owner-manager-dominated organizational cultures; and low awareness of their role in the low-carbon economy. Two findings are particularly relevant [11]: individual beliefs and values, as management functions are concentrated in one person or very few; and smaller firms will tend to have less time and technical skills to consider energy efficiency opportunities, to process and analyze relevant information

Along these lines, the EU has increased the amount of public funds available for energy efficiency in order to achieve the objectives set out in the "*Energy Union*" and support the transition towards a clean energy system. However, they also highlight the need of additional private financing. It is estimated that an additional €177 billion per year will be needed during the period 2021-2030 to achieve the EU's 2030 energy and climate targets [12].

In this context, the "SMEmPower Efficiency" project, funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation program, proposes a holistic approach to address different individual, organizational and institutional barriers. The aims of the project are facilitating the development of energy audits and implement the proposed energy efficiency in SMEs in eight European Union countries: Cyprus, Germany, Greece, Italy, Romania, Slovenia, Spain, Cyprus, Italy and the United Kingdom.

Objetivos

El objetivo principal de este Artículo es presentar los resultados obtenidos en la primera edición de las auditorías realizadas en materia de eficiencia energética enmarcadas en el proyecto H2020 SMEmPower Efficiency. Durante esta primera edición se ha evaluado el potencial de ahorro energético que presentaban siete PYMEs y se han propuesto medidas de eficiencia energética para las mismas.

Objectives

The main objective of this paper is to present the results obtained within the first edition of the energy efficiency audits carried out in the framework of the H2020 project SMEmPower Efficiency. During this first edition, the energy saving potential of 50 SMEs has been evaluated and energy efficiency measures have been proposed.

Metodología

La metodología llevada a cabo durante la primera edición del proyecto se divide en dos fases: una fase inicial en la que se desarrollaron dos herramientas que permiten:

- medir y establecer objetivos de ahorro energético (M&T).
- monitorizar y evaluar el ahorro energético conseguido (M&E).

Y una segunda fase donde se realizaron las auditorías energéticas, en las que se recogieron datos de consumo energético y producción mensuales. En el primer año, estos datos sirvieron para establecer el potencial ahorro energético (M&T) que estas PYMEs podían lograr. En el segundo año se evaluó la capacidad que tenían las empresas de implementar las medidas propuestas y el ahorro energético conseguido (M&E).

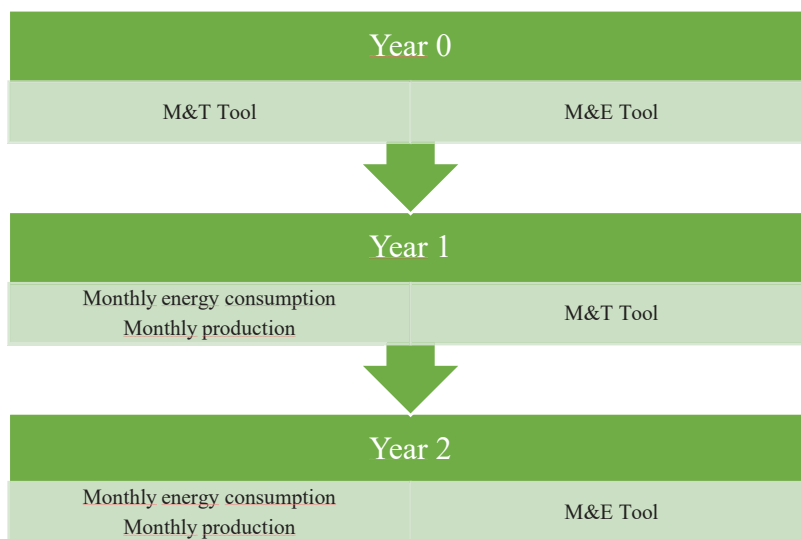


Fig. 1. Metodología / Fig. 1. Methodology

Los perfiles de las PYMEs fueron muy variados (Tabla 1), desde empresas manufactureras, pasando por cadenas de suministro de bienes básicos como electricidad y agua, hasta industrias cárnicas, siendo estas últimas el caso mayoritario del socio español.

Tabla 1. Perfil de las PYMEs / Table 1. SMEs profile

SME profile	Cyprus	Germany	Greece	Italy	Romania	Slovenia	Spain	United Kingdom
Manufacturing	X		X	X	X	X		X
Accommodation and Food Service	X	X						X
Water supply and Waste Management	X					X		
Transportation and Storage	X							
Brewing and bottling	X	X						
Production of office furniture		X				X		
Chemical production		X			X			
Textile production		X						
Engineering activities and consultancy			X			X		X
Cutting, shaping and finishing of stone			X		X			
Data processing				X	X			X
Production of electricity from renewable sources						X		
Meat Industry							X	

Methodology

The methodology carried out during the first edition of the project is divided into two phases: an initial phase in which two tools were developed that allow:

- measure and set energy saving targets (M&T).
- monitor and evaluate the energy savings achieved (M&E).

And a second phase where energy audits were carried out, in which monthly energy consumption and production data were collected. In the first year, this data was used to establish the potential energy savings (M&T) that these SMEs could achieve. In the second year, the companies'

capacity to implement the proposed measures and the energy savings achieved (M&E) were evaluated.

The profiles of the SMEs were very varied (Table 1), ranging from manufacturing companies, through supply chains of basic goods such as electricity and water, to meat industries, the latter being the majority of the Spanish partner.

Resultados

A lo largo de la primera edición se propusieron medidas de ahorro energético por encima de 40 GWh/año, lo que conlleva una reducción de emisiones de CO₂ asociadas equivalentes cercana a 22.000 ton/año.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las medidas de eficiencia energética agregadas:

- Inversión total de las medidas propuestas;
- Ahorro total de energía propuesto;
- Ahorro total de costes propuesto;
- Reducción total de las emisiones de CO₂;
- KPI1 – Inversión por emisión de CO₂ en toneladas reducida;
- KPI2 - Inversión por MWh ahorrado.

Tabla 2. Resultados de la primera edición / **Table 2.** First edition results

No.	Country	Number of SMEs	Proposed total investments	Proposed total energy savings	Proposed total cost savings	Proposed total CO ₂ emission reduction	Investment / Ton CO ₂	Investment / MWh saved
			[EUR]	[MWh/year]	[EUR/year]	[ton CO ₂ /year]	[Eur/ton CO ₂]	[EUR/MWh]
1	Cyprus	5	2.494.018	5.264,20	1.029.018,90	3.706,00	673,00	473,80
1	Cyprus	5	2.494.018	5.264,20	1.029.018,90	3.706,00	673,00	473,80
2	Germany	7	549.408	1.156,70	182.573,00	614,90	893,40	475,00
3	Greece	5	263.704	5.036,70	96.859,00	272,80	966,60	52,40
3	Greece	5	263.704	5.036,70	96.859,00	272,80	966,60	52,40
4	Italy	5	1.541.585	5.364,90	476.409,70	*	*	287,30
5	Romania	7	1.462.909	3.213,10	100.886,00	1.048,00	1.395,90	455,30
5	Romania	7	1.462.909	3.213,10	100.886,00	1.048,00	1.395,90	455,30
6	Slovenia	9	607.853	1.601,30	164.943,00	13.370,00	45,50	379,60
7	Spain	7	2.713.220	21.244,50	1.585.366,00	2.815,60	963,60	127,70
7	Spain	7	2.713.220	21.244,50	1.585.366,00	2.815,60	963,60	127,70
8	UK	4	67.280	41,80	6.402,00	25,00	2.691,20	1.610,80
TOTAL		49	9.699.977	42.923,20	3.642.457,60	21.852,30	1.089,89	482,74

Results

Throughout the first edition, energy saving measures in excess of 40 GWh/year were proposed, leading to a reduction of associated CO₂ equivalent emissions of around 22,000 tonnes/year. The results of the aggregated energy efficiency measures are presented in Table 2:

- Total investment of the proposed measures.
- Proposed total energy savings.
- Proposed total cost savings.

- Total reduction of CO2 emissions.
- KPI1 - Investment per CO2 emission in tons reduced.
- KPI2 - Investment per MWh saved.

Conclusiones

La primera fase del proyecto SMEmPower Efficiency contó con 50 PYMEs como centros piloto. A través de un exhaustivo procedimiento de evaluación energética, se han desarrollado planes de acción energética que contienen el esfuerzo financiero necesario para la inversión en euros/año, el ahorro energético en MWh/año, la reducción de las emisiones de CO2 y el período de amortización de la inversión.

Basándose en los procesos de análisis realizados, se pueden destacar dos categorías de soluciones y acciones futuras a plantear:

a) Soluciones técnicas basadas en energías renovables y eficiencia energética

Por un lado, la adopción de soluciones técnicas de eficiencia energética y la aplicación de tecnologías de energía renovable proporcionarán beneficios inmediatos para la PYME y el planeta, que pueden cuantificarse fácilmente tanto en ahorro económico como en reducción de las emisiones de CO2 asociadas. Se han identificado varias soluciones de este tipo:

- Sistema de gestión del edificio (BMS System).
- Sistemas de producción de energía renovable.
- Generadores de biogás.
- Unidades de cogeneración.
- Sistemas de iluminación basados en tecnología LED.
- Sistemas de control de iluminación.
- Máquinas de aire comprimido.
- Mantenimiento predictivo de máquinas eléctricas.

b) Mejora de la cultura energética de la empresa

Por otro lado, se descubrió que a nivel de los empleados de las PYMES se pueden conseguir mejoras de eficiencia energética indirectas mediante la aplicación de medidas de cultura organizativa energética. En este sentido, el consorcio SMEmPower destaca varias buenas prácticas implementadas entre los centros piloto, basándose en las evaluaciones y conclusiones de los propios agentes y auditores:

- Acciones de formación y cultura energética: formación anual para los empleados sobre el clima y la eficiencia energética;
- Incluir criterios de clima y eficiencia energética a la hora de elegir a los socios de la cadena de suministro;
- Se anima a los empleados a sugerir mejoras en la eficiencia energética y otras áreas de impacto ambiental;
- Aumentar el uso de insumos de producción respetuosos con el clima;
- Los proveedores y prestadores de servicios se eligen en función de estrictas normas medioambientales;
- Mayor poder de decisión para el responsable de la gestión energética/medioambiental;
- Trabajar con los proveedores para reducir la huella de carbono de la cadena de suministro.

Conclusions

The first phase of the SMEmPower Efficiency project involved 50 SMEs as pilot sites. Through a comprehensive energy assessment procedure, energy action plans have been developed containing the financial effort needed for the investment in EUR/year, the energy savings in MWh/year, the reduction of CO₂ emissions and the payback period of the investment.

Based on the analysis processes carried out, two categories of solutions and future actions to be considered can be highlighted:

a) technical solutions based on renewable energy and energy efficiency

On the one hand, the adoption of energy efficiency technical solutions and the application of renewable energy technologies will provide immediate benefits for the SME and the planet, which can be easily quantified both in terms of economic savings and reduction of associated CO₂ emissions. Several such solutions have been identified:

- Building Management System (BMS System).
- Renewable energy production systems.
- Biogas generators.
- Cogeneration units.
- Lighting systems based on LED technology.
- Lighting control systems.
- Compressed air machines.
- Predictive maintenance of electrical machines.

b) Improvement of the company's energy culture

On the other hand, it was found that indirect energy efficiency improvements can be achieved at the level of SME employees through the implementation of energy organisational culture measures. In this respect, the SMEmPower consortium highlights several good practices implemented among the pilot sites, based on the evaluations and conclusions of the stakeholders and auditors themselves:

- Training and energy culture actions: annual training for employees on climate and energy efficiency.
- Include climate and energy efficiency criteria when choosing supply chain partners.
- Employees are encouraged to suggest improvements in energy efficiency and other areas of environmental impact.
- Increase the use of climate-friendly production inputs.
- Suppliers and service providers are chosen based on strict environmental standards.
- Increased decision-making power for the person responsible for energy/environmental management.
- Work with suppliers to reduce the carbon footprint of the supply chain.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco del proyecto de investigación "*A holistic framework for Empowering SME's capacity to increase their energy efficiency*" — '*SMEmpower Efficiency*' (Referencia: 847132) del Programa Marco H2020 de la Unión Europea.

Acknowledgment

This work has been carried out within the framework of the research project "*A holistic framework for Empowering SME's capacity to increase their energy efficiency*" - '*SMEmpower Efficiency*' (Contract Ref: 847132) of the European Union's H2020 Framework Program.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- [1] International Energy Agency (2015). *Accelerating Energy Efficiency in Small and Medium-sized Enterprises. Powering SMEs to catalyse economic growth*. IEA/OECD Publishing, Paris.
- [2] International Energy Agency (2014b). *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency: A Guide to Quantifying the Value Added*, IEA/OECD Publishing, Paris. DOI: <https://dx.doi.org/10.1787/9789264220720-en>.
- [3] European Commission (2020). *Energy Efficiency Directive*. EU, November 2020 https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en. Accessed 31 March 2021.
- [4] European Commission (2020). *2030 Climate & Energy Framework*. EU, November 2020 https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es. Accessed 31 March 2021.
- [5] Anupama Prashar (2017). *Energy efficiency maturity (EEM) assessment framework for energy-intensive SMEs: Proposal and evaluation*. *Journal of Cleaner Production*, Volume 166, 2017, Pages 1187-1201, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.116>.
- [6] D. Saygin, E. Worrell, C. Tam, N. Trudeau, D.J. Gielen, M. Weiss, M.K. Patel (2012). *Long-term energy efficiency analysis requires solid energy statistics: The case of the German basic chemical industry*. *Energy*, Volume 44, Issue 1, 2012, pp. 1094-1106
- [7] F. Kalantzis, D. Revoltella. (2019). *Do energy audits help SMEs to realize energy-efficiency opportunities?*. *Energy Economics*, Volume 83, 2019, Pages 229-239, ISSN 0140-9883, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.07.005>.
- [8] Trianni, E. Cagno (2011). *Dealing with barriers to energy efficiency and SMEs: Some empirical evidences*. *Energy*, Volume 37, Issue 1, 2012, Pages 494-504, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.005>.
- [9] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) (2020). *Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020*. IDAE, Noviembre de 2020. <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/plan-nacional-de-accion-de-eficiencia-energetica-2017-2020>. Accessed 31 March 2021.
- [10] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) (2020). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030*. <https://www.idae.es/informacion-y-publicaciones/plan-nacional-integrado-de-energia-y-clima-pniec-2021-2030>. Accessed 31 March 2021.
- [11]. Tina Fawcett, Sam Hampton (2020). *Why & how energy efficiency policy should address SMEs*. *Energy Policy*, Volume 140, 2020, 111337, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111337>.
- [12] ManagEnergy. (2018). *Financing energy efficiency*. <https://www.managenergy.net/node/580>. Accessed 31 March 2021.

CONSTRUCCIÓN Y CAMBIO CLIMATICO. DE PARIS A CLASGOW

CONSTRUCTION AND CLIMATE CHANGE. FROM PARIS TO CLASGOW

Mercedes Almenar-Muñoz

Investigadora y Profesora Dra Departamento de Urbanismo. Universitat Politècnica de València, España. Email: meralmuo@urb.upv.es

Researcher and Professor Phd.at the Department of Urbanism. Polytechnic University of Valencia, Spain.

Anzhela Bodina.

Arquitecta. Architect

Resumen

En los últimos años estamos asistiendo a un cambio de paradigma sobre el consumo energético de los edificios, pero este campo necesita de medidas decididas. Contrariamente a la concepción generalizada, no es necesario comprometer el nivel confort y la calidad de vida si reducimos el uso de energía en la vida cotidiana.

Actualmente existe un gran número de viviendas del parque edificado, pero en pocas la energía se utiliza de manera inteligente y de forma que se emita la menor cantidad de gases de efecto invernadero posible. Estos gases, entre ellos el CO₂, se conocen por ser los causantes principales del cambio climático que está sufriendo el planeta, y cuyas emisiones, si no son reducidas, tendrán graves consecuencias sobre la salud de las personas y el medio ambiente. Por tanto, la eficiencia energética debe ser una de las prioridades de las agendas de todos los gobiernos a escala mundial, europea, estatal y, por supuesto, autonómico deben implementar diferentes iniciativas legislativas para reducir al mínimo las emisiones de estos gases.

El sector de la construcción es uno de los principales causantes de gran parte de las emisiones de CO₂, por lo que estas normativas regulan la transformación del parque edificatorio existente en dirección hacia construcciones sostenibles y eficientes, que supongan una reducción importante de la contaminación. Sin embargo, y como es sabido, tenemos que lidiar con los problemas que representan los edificios antiguos en cuanto a ineficiencia energética.

Finalmente, este trabajo analiza las últimas Conferencias de las Partes (COP), Cumbre Anual que realiza la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), celebradas en París en 2015 a la reciente de 2021 en Glasgow, siendo insuficientes para frenar la crisis climática mundial.

Palabras clave Eficiencia Energética, Pobreza Energética, Crisis Climática, Construcción Sostenible,

Abstract

In recent years we are witnessing a paradigm shift in energy consumption or buildings, but this field needs decisive measures. Contrary to belief, it is not necessary to compromise the comfort level and quality of life if we reduce the use of energy in everyday life.

Currently there is many houses in the built stock, but in few the energy is used intelligently and in a way that emits the least amount of greenhouse gases possible. These gases, including CO₂, are known to be the main causes of climate change that the planet is suffering, and whose emissions, if not reduced, will have serious consequences on the health of people and the environment. Therefore, energy efficiency must be one of the priorities of the agendas of all governments on a global scale, Europe, state and, of course, regional must implement different legislative initiatives to minimize emissions of these gases.

The construction sector is one of the main causes of a large part of CO₂ emissions, so these regulations regulate the transformation of the existing building stock in the direction of sustainable and efficient constructions, which mean a significant reduction in pollution. However, as is well known, we must deal with the problems that old buildings present in terms of energy inefficiency.

Finally, this paper analyzes the last Conference of the Parties (COP), Annual Summit held by the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), held in Paris in 2015 to the recent 2021 in Glasgow, being insufficient to curb the global climate crisis.

Keywords Energy Efficiency, Energy Poverty, Climate Crisis, Sustainable Construction,

CAMBIO CLIMÁTICO Y CONSTRUCCIÓN

Cada vez hay más estudios en este campo dada la estrecha relación entre construcción y el cambio climático. En 1996 ya se realizó un estudio en Atenas, instalándose 30 estaciones de medición de temperatura y humedad, repartidas en puntos estratégicos, con el fin de estudiar zonas densamente edificadas, otras de media y otras de baja y muy baja densidad. Estas estaciones se centraban en tres tipos de mediciones: temperatura del aire, temperatura del suelo y velocidad del viento.¹

Este estudio concluyó que las temperaturas más altas en los centros urbanos afectan, como es lógico, a la carga de calefacción de los edificios, y que podría reducirse hasta 30-50% conforme se aleja de los centros urbanos y se adentra en la periferia de las ciudades. Este fenómeno se conoce como el “efecto isla de calor”, siendo una de las principales causantes de este problema la ausencia de vegetación en las ciudades, así como el uso de materiales como hormigón, ladrillo y asfalto, los cuales absorben el calor durante el día. Por supuesto, la actividad humana debe considerarse como un factor determinante de este fenómeno, y, por tanto, las ciudades con alta densidad de población son las más afectadas.² La construcción es uno de los mayores consumidores de materias primas, siendo el sector cementero el responsable de cerca del 5% de las emisiones de CO₂, principal gas productor del efecto invernadero y cambio climático, ya que depende críticamente de la existencia de combustibles fósiles.³

En 2021 estamos experimentando, el impacto directo que tiene la emisión de los gases de efectos invernadero (GEI) sobre el precio de la luz, batiendo récords históricos y alcanzando los 180 euros/MWh, como consecuencia del encarecimiento de los derechos de emisión de CO₂.

El sector de la edificación es un elemento fundamental en la lucha contra el cambio climático, ya que es el responsable de generar el 35% del CO₂ que emitimos a la atmósfera y alrededor del 40 % del consumo final de energía, según diversos estudios. La innovación tecnológica ha permitido el crecimiento del parque edificatorio hasta unos niveles inimaginables anteriormente. Esto, ha permitido adaptar el entorno a nuestras necesidades, pero también ha afectado de manera muy negativa a este, alterando los diversos procesos naturales como es el ciclo de agua o la evolución de la línea de costa. Además, España es uno de los países europeos más vulnerables a los cambios del clima, que sufre importantes olas de calor, extremos fenómenos meteorológicos y la intensificación de ciertas enfermedades, ALMENAR-MUÑOZ & ANTEQUERA⁴. También LINARES GIL apunta que *Con el aumento de las concentraciones de NO₂ y del ozono se magnifican los problemas en el aparato respiratorio o se exacerban los casos de Alzheimer y de Parkinson, según han constatado más de 15 años de investigación en nuestro centro*”.⁵

En la Conferencia de las Partes de Naciones Unidas sobre Cambio Climático celebrada en 2019 (COP25), se advirtió que los esfuerzos globales han de aumentarse exponencialmente para lograr el objetivo de reducir el incremento de la temperatura del planeta y no superar los 1,5 grados, ya que conforme a la actividad de los países se prevé un aumento de hasta 3,2 grados.

Lo que parecía un enfoque ambicioso, ha mostrado en el último periodo unos mínimos históricos en Europa de emisiones de dióxido de carbono. Es más, según lo indicado en un informe del Panel Intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC)⁶, se espera un incremento del calentamiento global de alrededor del 1,5°C entre los años 2030 y 2052 si continua el ritmo actual, a 0,2°C por decenio como consecuencia de las emisiones anteriores y las actuales.

¹ SANTAMOURIS, M., *On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings* (2001.); I.P. Koronaki Elsevier Science Ltd. Vol. 70, No. 3, pp. 201–216).

² ESTRADA, F., *A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts*, Nature Climate Change, 2017. Disponible en: https://www.nature.com/articles/nclimate3301?WT.feed_name=subjects_biological-sciences

³ TURIEL A, Consejo Superior de Investigaciones Científicas , 2021, <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/antonio-turiel-la-escasez-de-materiales>.

⁴ ALMENAR-MUÑOZ, M. & ANTEQUERA TERROSO, E. *Acerca del procedimiento de evaluación ambiental estratégica y la incardinación de la salud en el proceso de elaboración los planes*, en Marco legal y procedimental de la Ordenación del Territorio en España: diagnóstico y balance, Aranzadi, 2021.

⁵ LINARES GIL, C.: científica titular del Instituto de Salud Carlos III e integrante del equipo de expertos para el Sexto Informe del IPCC sobre el cambio climático.

⁶ *Calentamiento global de 1,5°C*. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (IPCC), 2019. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf

Según datos publicados por la Agencia Europea del Medio Ambiente sobre emisiones de gases de efecto invernadero⁷, en el periodo 2018-2019 en el sector residencial en España las emisiones han caído un 9%, y un 47,5 % respecto al año 1990-2010.

Se esperaba que para el 2020 la reducción de las emisiones alcanzaría el 20% respecto al año de partida, pero ya en 2019 el porcentaje había superado el 24%, por tanto, se puede estimar que hacia el año 2030 se llegará a reducir un 40% de las emisiones respecto al año 1990. Para ello, los 27 miembros de la UE deben triplicar sus reducciones medias entre las décadas 2030 y 2050. Por el contrario, la CE ha fijado un objetivo algo más ambicioso, estableciendo un decrecimiento de un 55% en el horizonte 2030.

Otro informe, realizado por el Green Building Council (GBC) en España⁸, indica que según la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) el aumento de la temperatura global será cuanto menos de 2,5°C este siglo y recoge lo siguiente: *“Nuestros edificios deberán hacer frente a unas condiciones climáticas tendentes a un calentamiento de al menos 2,5 °C de media en 2100, si conseguimos limitar el pico de emisiones a 2040, en un escenario favorable. De no tomar acciones en materia de cambio climático nos arriesgamos a un aumento de la temperatura media de casi 5 °C”*.

Para entrar un poco en contexto, debemos conocer el objetivo de la asociación sin ánimo de lucro conocida como GBC-España. Esto es, conseguir que el parque edificado del país sea lo más sostenible posible. Para ello se centra en cumplir con las cinco “P”: Personas, Prosperidad, Planeta, Paz, Pacto.

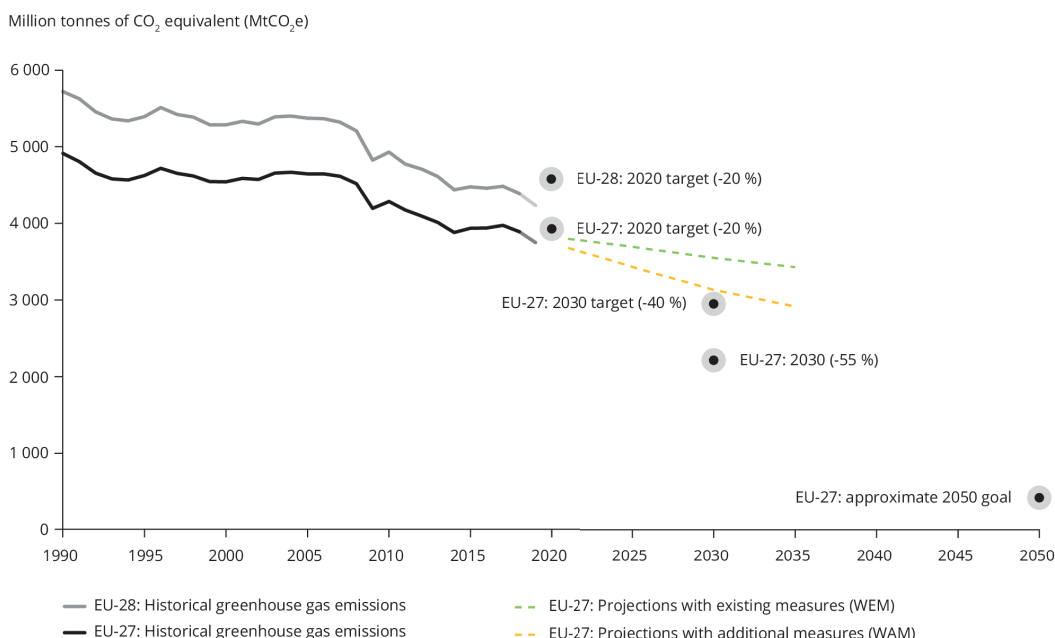


Ilustración 1: Previsión de Emisiones de CO₂ en UE. Fuente: EEA. Elaboración Anzhela Bodina

Tomando datos relevantes^{9,10} se evidencia que la mejor aliada de la descarbonización es la eficiencia energética, ya que concretamente los edificios tienen una demanda energética u otra según su diseño. La dependencia de los recursos agotables y combustibles reduce la capacidad de generación de electricidad, contaminando el aire. Por ello, es imprescindible no solo cuidar la construcción del nuevo parque edificatorio, aprovechando las condiciones climáticas y micro climáticas de la edificación

⁷Visor interactivo de datos de European Environment Agency (EEA). Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>.

⁸ La descarbonización de la edificación, Green Building Council España, noviembre 2020. Disponible en: <https://gbce.es/wp-content/uploads/2020/11/Informe-La-descarbonizacio%CC%81n-de-la-edificacio%CC%81n.pdf>

⁹ Estrategia de descarbonización a largo plazo 2050, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid, 2020

¹⁰ TOVA HOLGADO, E., Almacenamiento de energía: clave para la descarbonización. INERCO, 2019.

teniendo en consideración diferentes medias como la orientación, la ventilación y la iluminación natural, por ejemplo, sino también apostar por las energías limpias¹¹.

Llevar a cabo diferentes adaptaciones permitirán proyectar (y rehabilitar) edificios más resilientes frente a situaciones extremas, como el caso del confinamiento a causa de la pandemia mundial actual.

Un dato reseñable del citado informe elaborado por el GBCe es el impacto de la pandemia del COVID-19 sobre la población mundial, y la escasa preparación para hacer frente a la situación. El GBCe propone rehabilitar las viviendas vulnerables, con falta de recursos y pobreza energética, aprovechando las ayudas que el Consejo Europeo ha destinado a la acción climática, para hacer frente a la crisis de la pandemia descarbonizando los edificios tanto existentes como de nueva planta.

Como consecuencia, ya se están empezando a ver los diferentes impactos como una mayor frecuencia de inundaciones y sequías, de aumento del nivel del mar o de otros fenómenos, todos ellos afectan negativamente también al sector de la edificación. Por ello, se están impulsando diferentes políticas que contribuyan tanto a la mitigación de los efectos del cambio climático, como a la reducción de las emisiones de los GEI.

En lo que a la mitigación respecta, el reto es el impulso del uso de energías renovables, ahorro energético, el reciclaje y reutilización de residuos (economía circular) e incluso la incorporación de elementos vegetales en los edificios, como pueden ser cubierta vegetal, terrazas o fachadas verdes. Las actuaciones a una escala mayor permiten avanzar un paso más en el proceso de descarbonización, por lo cual es importante intervenir no solamente en edificios puntuales, sino también en los barrios y ciudades a nivel global y en los diferentes espacios públicos que las conforman.

La economía circular, nombrada recientemente, trata de mantener el valor de los materiales utilizados para la construcción el mayor tiempo posible, reduciendo los recursos necesarios para su mantenimiento a lo largo de su vida útil y minimizando los residuos al máximo, con el fin de ofrecer la posibilidad de volver a reutilizarlos. En efecto, para conseguir el máximo ahorro energético es necesario no solo introducir métodos activos, sino optimizar también las diferentes acciones de todo el proceso de proyecto, sea este de nueva planta o de rehabilitación, pues el comportamiento del inmueble se ve condicionado a lo largo de toda su vida útil por las condiciones pasivas del edificio.

La eficiencia energética de un inmueble, si se toma en cuenta el consumo final de energía, dependerá en gran medida de la energía requerida para mantener las condiciones lumínicas o térmicas, entre otros, necesarias y, al mismo tiempo, éstas dependerán de las condiciones pasivas adoptadas¹². No obstante, también será influenciado por la energía requerida para los procesos de fabricación. Esto es, si se redujeran las emisiones asociadas a las primeras fases de edificación, se reducirán también los fenómenos influyentes sobre el cambio climático y la contaminación atmosférica, al igual que la limitación del consumo de energía supondría una importante reducción de la necesidad del consumo de fuentes fósiles. Como ya apuntaba LLOYD WRIGHT: *Los materiales de construcción son extraídos de la naturaleza y volverán otra vez a ella.*

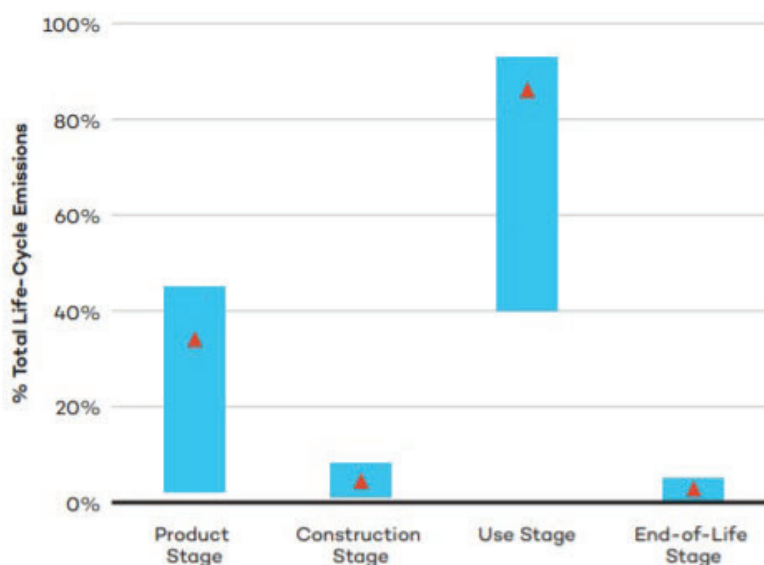
Por ello, hoy en día hay que ocuparse no solo del fin del ciclo de un edificio, sino de todo su ciclo de vida útil, considerando desde la fase de producción de los materiales y la construcción del edificio hasta su uso y mantenimiento y su posterior demolición, garantizando la máxima longevidad del proyecto. Ya existen herramientas que permiten estudiar los impactos ambientales de los materiales empleados durante todas las etapas, desde extracción del material hasta su deshecho. Uno es el Life Cycle Assessment (LCA), otro instrumento es el conocido Certificado VERDE, que tiene en cuenta, entre otros, la utilización y la adecuada certificación de los materiales empleados en una obra, la procedencia de su materia prima, composición e incluso la posibilidad de reciclaje del material mismo, así como de otros elementos auxiliares empleados como puede ser el embalaje, o el uso y la contaminación del combustible utilizado para su transporte.

Como dato interesante, el International Institute for Sustainable Development (IISD)¹³ ha realizado un estudio sobre la contribución de las diferentes fases del ciclo de vida de un edificio y las emisiones de cada una de ellas. Los resultados obtenidos se pueden visualizar en la siguiente ilustración:

¹¹ GIELEN, E, ALMENAR MUÑOZ, M, y PALENCIA-JIMÉNEZ, J.S, *Disparidad territorial en la implantación de la energía solar en España*. La regulación de la energía limpia ante la emergencia climática. Capítulo III. 2020.

¹² HERNÁNDEZ SÁNCHEZ, J. M., *Medidas de mejora de la eficiencia energética de edificios residenciales*, Departament de Projectes d'Enginyeria de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2011, p. 2. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/15061>.

¹³ Emission Omissions. Carbon accounting gaps in the built environment. International Institute for Sustainable Development, 2019.



**Ilustración 2: Emisiones de cada fase de la vida de un edificio. Fuente: Emission Omission¹⁴.
Elaboración Anzhela Bodina**

De este gráfico podemos extraer varias conclusiones. En primer lugar, se evidencia que la fase dominante es la del uso del edificio, suponiendo el 80% de las emisiones totales. Es cierto que, cuanto más eficiente energéticamente es un inmueble, menor será el porcentaje. En segundo lugar, la fase de construcción no parece ser tan significativa, al igual que la fase de fin de vida. Por el contrario, la producción de los materiales supone un gran porcentaje de todas las emisiones, aunque depende en gran medida de la proporción de emisiones en la fase de uso.

En el año 2019 se hizo estudio¹⁵ que desarrolló un ejercicio “ficticio” en el ámbito de la UE. Así, partiendo de la premisa de que el PIB va de la mano de las mejoras en eficiencia energética, y que el PIB per cápita de la UE siga aumentando 2% anualmente y la población lo hace al 0,28% se obtuvo que la caída anual de la descarbonización y del gasto energético debería ser aproximadamente del 7% para poder alcanzar el objetivo de neutralidad climática marcada por la CE. Con este fin, alrededor del 5-6% de las mejoras en eficiencia deberán provenir de la descarbonización y, por consiguiente, de las inversiones en energías procedentes de fuentes renovables tales como la fotovoltaica, eólica o geotérmica.

La CE está adoptando iniciativas para impulsar el uso de estas fuentes y fomentar una mayor aceptación en el sector. España también propone superar barreras económicas a través de la concesión de subvenciones para la instalación de sistemas de fuentes renovables. Los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) han comenzado su declive y las renovables no pueden sustituirlos según el modelo actual

Por supuesto, la incorporación de lo comentado arriba es importante, pero no hay que olvidar que el punto de partida para la estrategia de lucha contra el cambio climático se concentra en características más directas del proyecto: el emplazamiento, la orientación, la posibilidad de tratamiento de aguas grises, promoción del uso de energías renovables, entre otros, que además resultan ser puntos fundamentales en la certificación VERDE. Tomar en consideración estas medidas no tienen por qué suponer un aumento del coste de construcción del edificio, pero sí que aumentan los niveles de eficiencia hasta llegar a necesitar 65% de energía para garantizar el confort interior de los usuarios¹⁶.

Para hacer este procedimiento más transparente, el Consejo General de la Arquitectura Técnica de España ha desarrollado una calculadora energética, herramienta gratuita que emite una calificación

¹⁴ STIEBERT, S., *Emission Omissions: Carbon accounting gaps in the built environment*, 2019.

¹⁵ DÍAZ A., MARRERO, Á.S., PUCH, L.A., RODRÍGUEZ LÓPEZ, J., *Economic growth, energy intensity and the energy mix*. Energy Economics, Volume 81, 2019.

¹⁶ TZIKOPOULOS, A. F., KARATZA, M. C., Y PARAVANTIS, J. A., *Modelling energy efficiency of bioclimatic buildings*. Energy and buildings (2005).

energética de la vivienda y se concienciará al ciudadano de la demanda energética que representa su hogar y qué puede hacer para ahorrar y mitigar la pobreza energética.

Por último, debemos referirnos al Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) y al reciente Real Decreto-Ley 19/2021, de 5 de octubre.¹⁷, que aprueba una serie de medidas al objeto de impulsar la rehabilitación de edificios y viviendas, la regeneración urbana y la promoción de vivienda social.

Al efecto, se ha aprobado el Real Decreto 853/2021, de 5 de octubre que regula las líneas de ayudas a la rehabilitación de viviendas y promoción de vivienda social¹⁸. El RD contempla seis programas de ayudas para 1) la rehabilitación de viviendas y reurbanización de espacios públicos en barrios con necesidades de transformación; 2) el apoyo a las oficinas de rehabilitación; 3) la rehabilitación de edificios; 4) la mejora de la eficiencia energética de viviendas; 5) la redacción de proyectos de rehabilitación y la elaboración del Libro del Edificio Existente (LEE) y 6) la promoción de viviendas en alquiler social en edificios energéticamente eficientes.

El importe máximo de la subvención se condiciona al ahorro energético final de la actuación (desde el 40% hasta el 80%) y la cuantía máxima de la ayuda podrá alcanzar los 21.400 euros por vivienda. En caso de que los propietarios o usufructuarios cumplan el criterio de vulnerabilidad económica o social, se financiará hasta el 100% del coste de la actuación con cargo a los fondos europeos.

En el parque existente las obras de rehabilitación deben suponer una mejora acreditada de la eficiencia energética, con especial atención a la envolvente edificatoria, en edificios de tipología residencial colectiva y en viviendas unifamiliares, debiendo tratarse de actuaciones en las que se obtenga una reducción de consumo de energía primaria no renovable del edificio igual o superior al 30%.

CLIMATE CHANGE AND CONSTRUCTION

There are increased studies in this field given the close relationship between the impact of construction on climate change. In 1996 a study was already conducted in Athens, installing 30 temperature and humidity measuring stations, distributed in strategic points, in order to study densely built areas, others of medium and others of low and very low density. These stations focused on three types of measurements: air temperature, ground temperature, and wind speed.¹⁹

This study concluded that higher temperatures in urban centers affect, of course, the heating load of buildings, and that it could be reduced by up to 30-50% as you move away from urban centers and into the periphery of cities. This phenomenon is known as the "heat island effect", being one of the main causes of this problem the absence of vegetation in cities, as well as the use of materials such as concrete, brick and asphalt, which absorb heat during the day. Of course, human activity should be considered as a determining factor of this phenomenon, and, therefore, cities with high population density are the most affected.²⁰. Construction is one of the largest consumers of raw materials, being the cement sector responsible for about 5% of CO₂ emissions, the main gas producing greenhouse effect and climate change, as it depends critically on the existence of fossil fuels.

In 2021 we are experiencing the direct impact that the emission of greenhouse gases (GHG) has on the price of electricity, breaking historical records and reaching 180 euros / MWh, because of the increase in CO₂ emission rights.

The building sector is a fundamental element in the fight against climate change, since it is responsible for generating 35% of the CO₂ we emit into the atmosphere and around 40% of the final energy consumption, according to numerous studies. Technological innovation has allowed the building stock to grow to previously unimaginable levels. This has allowed us to adapt the environment to our needs, but it has also affected it in a negative way, altering the various natural processes such as the water cycle or the evolution of the coastline. In addition, Spain is one of the countries in Europe most vulnerable to climate change, suffering from major heat waves, extreme

¹⁷ Real Decreto-Ley 19/2021, de 5 de octubre, de medidas urgentes para impulsar la actividad de rehabilitación edificatoria en el contexto del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

¹⁸ Real Decreto 853/2021, de 5 de octubre, por el que se regulan los programas de ayuda en materia de rehabilitación residencial y vivienda social del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

¹⁹ SANTAMOURIS, M., On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings (2001).; I.P. Koronaki Elsevier Science Ltd. Vol. 70, No. 3, pp. 201-216).

²⁰ ESTRADA, F., A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts, Nature Climate Change, 2017. Disponible en: https://www.nature.com/articles/nclimate3301?WT.feed_name=subjects_biological-sciences

weather events and the intensification of certain diseases, ALMENAR-MUÑOZ & ANTEQUERA. LINARES GIL also points out that with the increase in the concentrations of NO_2 and ozone, the problems in the respiratory system are magnified or the cases of Alzheimer's and Parkinson's are exacerbated, as more than 15 years of research in our center have confirmed".²¹

At the 25th Conference of the Parties to Climate Change held in 2019, the UN warned that global efforts must be increased exponentially to achieve the goal of reducing the increase in the planet's temperature and not exceeding 1.5 degrees, since according to the activity of the countries an increase of up to 3.2 degrees is expected.

What seemed like an ambitious approach has shown in the last period historical lows in Europe of carbon dioxide emissions. Moreover, as indicated in a report by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), global warming is expected to increase by around 1.5°C between 2030 and 2052 if the current rate continues,²² to 0.2°C per decade because of previous and current emissions.

According to data published by the European Environment Agency on greenhouse gas emissions, in the period 2018-2019 in the residential sector in Spain emissions have fallen by 9%, and by 47.5% compared to 1990-2010.²³

It was expected that by 2020 the reduction in emissions would reach 20% compared to the starting year, but already in 2019, the percentage had exceeded 24%, therefore, it can be estimated that by 2030 it will be possible to reduce 40% of emissions compared to 1990. To do this, the 27 EU members must triple their average reductions between the 2030s and 2050s. On the contrary, the EC has set a more ambitious target, setting a decrease of 55% over the horizon of 2030.

Another report, by the Green Building Council (GBC) in Spain.²⁴ Indicates that according to the Spanish Office of Climate Change (OECC) the increase in global temperature will be the less than 2.5°C this century and includes the following: *"Our buildings will have to cope with climate conditions tending to a warming of at least 2.5 °C on average in 2100, if we manage to limit the peak of emissions to 2040, in a favorable scenario. Failure to take action on climate change risks an average temperature increase of almost 5°C."*

To get a little into context, we must know the objective of the non-profit association known as GBC-Spain. That is, to make the country's built-up park as sustainable as possible. For this it focuses on fulfilling the five "P's": People, Prosperity, Planet, Peace, Covenant.

²¹ LINARES GIL, C.: senior scientist at the Carlos III Health Institute and member of the team of experts for the IPCC Sixth Report on climate change.

²² *Global warming of 1.5°C*. Intergovernmental Panel on Climate Change. (IPCC), 2019. Available in: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf

²³ Interactive data viewer from the European Environment Agency (EEA). Available in: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>.

²⁴ *The decarbonization of building*, Green Building Council Spain, November 2020. Available in: <https://gbce.es/wp-content/uploads/2020/11/Informe-La-descarbonizacio%CC%81n-de-la-edificacio%CC%81n.pdf>

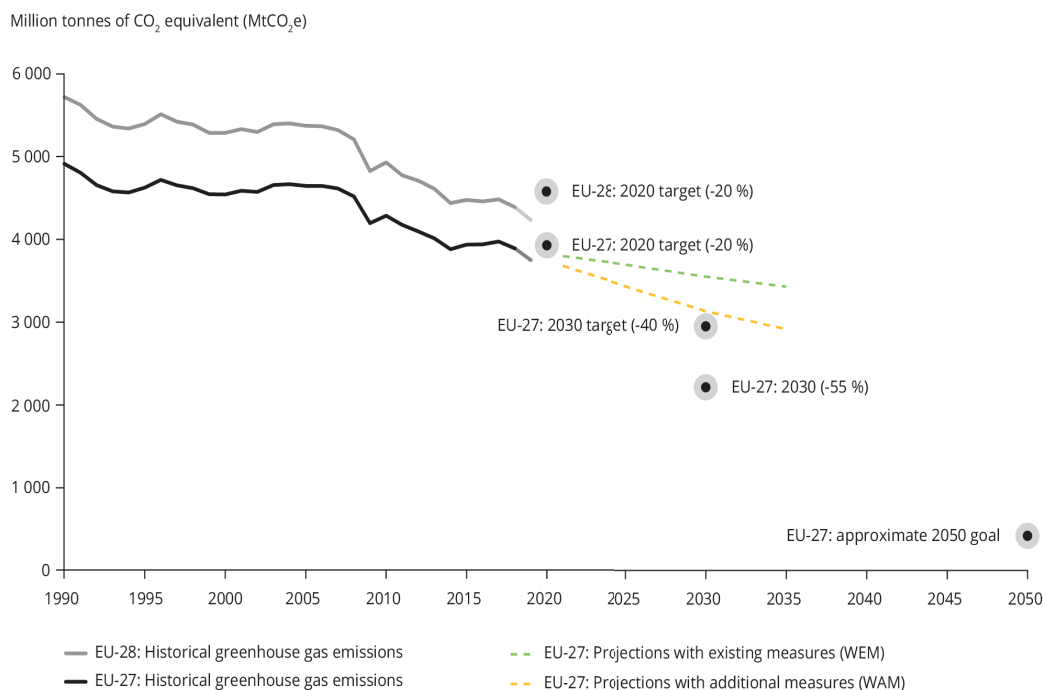


Illustration 1: Forecast of CO₂ emissions in the EU. Source: EEA. Elaboration Anzhela Bodina

Taking relevant data^{25, 26} it is evident that the best ally of decarbonization is energy efficiency, since specifically buildings have an energy demand or another according to their design. Dependence on exhaustible resources and fuels reduces the capacity to generate electricity, polluting the air. Therefore, it is essential not only to take care of the construction of the new building park, taking advantage of the climatic and micro climatic conditions of the building considering different means such as orientation, ventilation, and natural lighting, for example, but also to bet on clean energies.

Carrying out different adaptations will allow to project (and rehabilitate) more resilient buildings in the face of extreme situations, such as the case of the confinement due to the current global pandemic.

A noteworthy fact of the report prepared by the GBCe is the impact of the COVID-19 pandemic on the world population, and the poor preparation to face the situation. The GBCe proposes to rehabilitate vulnerable homes, with lack of resources and energy poverty, taking advantage of the aid that the European Council has allocated to climate action, to face the crisis of the pandemic by decarbonizing both existing and new buildings.

Therefore, the different impacts are already beginning to be seen, such as a greater frequency of floods and droughts, sea level rise or other phenomena, all of which also negatively affect the building sector. Therefore, different policies are being promoted that contribute both to the mitigation of the effects of climate change, and to the reduction of GHG emissions.

As far as mitigation is concerned, the challenge is to promote the use of renewable energies, energy saving, the recycling and reuse of waste (circular economy) and even the incorporation of plant elements in buildings, such as green roofs, terraces, or green facades. Actions on a larger scale allow us to go one step further in the decarbonization process, so it is important to intervene not only in specific buildings, but also in neighborhoods and cities globally and in the different public spaces that make them up.

The energy efficiency of a building, if the final energy consumption is considered, will depend to a large extent on the energy required to maintain the lighting or thermal conditions, among others, necessary and, at the same time, these will depend on the passive conditions mentioned above. However, it will also be influenced by the energy required for manufacturing processes. That is, if the emissions associated with the first phases of construction were reduced, the phenomena influencing climate change and air pollution would also be reduced, just as the limitation of energy consumption

²⁵Long-term decarbonization strategy 2050, Ministry for the Ecological Transition and the Demographic Challenge, Madrid, 2020

²⁶ TOVA HOLGADO, E., Energy storage: key to decarbonization. INERCO, 2019.

would mean a significant reduction in the need for the consumption of fossil sources. As LLOYD WRIGHT pointed out: *Building materials are extracted from nature and will return to it again.*

For this reason, today we must deal not only with the end of the cycle of a building, but with its entire useful life cycle, considering from the production phase of the materials and the construction of the building to its use and maintenance and its subsequent demolition, guaranteeing the maximum longevity of the project. There are already tools that allow studying the environmental impacts of the materials used during all stages, from extraction of the material to its waste. One is the Life Cycle Assessment (LCA), another instrument is the well-known GREEN Certificate, which considers, among others, the use and proper certification of the materials used in a work, the origin of its raw material, composition and even the possibility of recycling the material itself, as well as other auxiliary elements used such as packaging, or the use and contamination of the fuel used for transport.

Interestingly, the International Institute for Sustainable Development (IISD) has²⁷ conducted a study on the contribution of the distinct phases of the life cycle of a building and the emissions of each of them. The results obtained can be seen in the following illustration:

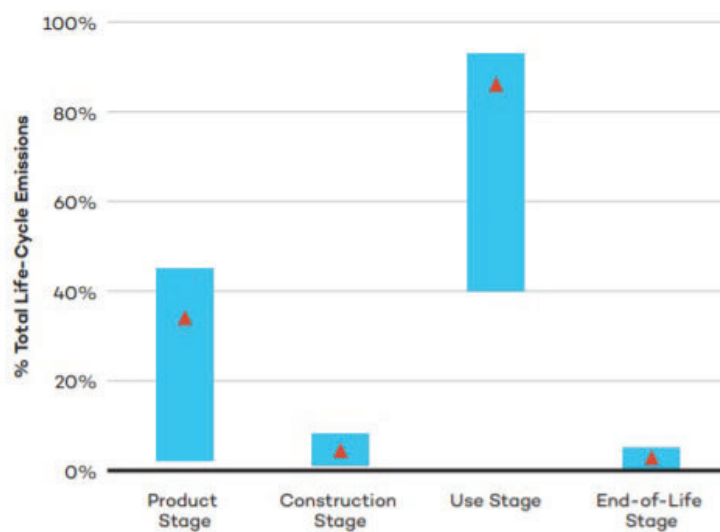


Figure 2: Emissions from each phase of a building's life. Source: Emission Omission. Elaboration Anzhela Bodina²⁸

De this graph we can draw several conclusions. In the first place, it is evident that the dominant phase is that of the use of the building, assuming 80% of the total emissions. It is true that, the more energy efficient a property is, the lower the percentage. Secondly, the construction phase does not seem to be as significant, as does the end-of-life phase. In contrast, the production of materials accounts for a significant percentage of all emissions, although it depends largely on the proportion of emissions in the use phase.

In 2019, a study was conducted²⁹ that developed a "fictitious" exercise at the EU level. Thus, starting from the premise that GDP goes hand in hand with improvements in energy efficiency, and that the GDP per capita of the EU continues to increase 2% annually and the population does so to 0.28% it was obtained that the annual fall in decarbonization and energy expenditure should be approximately 7% to achieve the objective of climate neutrality set by the EC. To this end, around 5-6% of efficiency improvements should come from decarbonization and, consequently, from investments in energy from renewable sources such as photovoltaic, wind or geothermal.

The EC is taking initiatives to boost the use of these sources and encourage greater acceptance in the sector. Spain also proposes to overcome economic barriers through the granting of subsidies for

²⁷ Emission Omissions. Carbon accounting gaps in the built environment. International Institute for Sustainable Development, 2019

²⁸ STIEBERT, S., Emission Omissions: Carbon accounting gaps in the built environment, 2019.

²⁹ DÍAZ A., MARRERO, Á.S., PUCH, L.A., RODRÍGUEZ LÓPEZ, J., *Economic growth, energy intensity and the energy mix.* Energy Economics, Volume 81, 2019.

the installation of renewable source systems. Fossil fuels (oil, coal and gas) have begun their decline and renewables cannot replace them according to the current model.

Of course, the incorporation of the above is important, but we must not forget that the starting point for the strategy to combat climate change focuses on more direct characteristics of the project: the location, the orientation, the possibility of grey water treatment, promotion of the use of renewable energies, among others, which also turn out to be fundamental points in the GREEN certification. Considering these measures do not have to mean an increase in the cost of construction of the building, but they do increase the levels of efficiency until they need 65% of energy to guarantee the interior comfort of the users.³⁰

To make this procedure more transparent, the General Council of Technical Architecture of Spain has developed an energy calculator, a free tool that issues an energy rating of the house and will make the citizen aware of the energy demand that their home represents and what they can do to save and mitigate energy poverty.

Finally, we must refer to the Recovery, Transformation and Resilience Plan and the recent Royal Decree-Ley 19/2021, of October 5,³¹ which approves a series of measures to the objector to promote the rehabilitation of buildings and homes, urban regeneration, and the promotion of social housing.

To this end, Royal Decree 853/2021, of October 5, which regulates the lines of aid for the rehabilitation of housing and promotion of affordable social housing, has been approved. The RD includes six aid programs for 1) the rehabilitation of housing and redevelopment of public spaces in neighborhoods in need of transformation; (2) support to rehabilitation offices; (3) the rehabilitation of buildings; 4) improving the energy efficiency of homes; 5) the drafting of rehabilitation projects and the preparation of the Existing Building Book and 6) the promotion of social rental housing in energy-efficient buildings.³²

The maximum amount of the subsidy is conditioned to the final energy savings of the action (from 40% to 80%) and the maximum amount of the aid may reach 21,400 euros per home. If the owners or usufructuaries meet the criterion of economic or social vulnerability, up to 100% of the cost of the action will be financed from European funds.

In the existing buildings, the rehabilitation works must involve an accredited improvement in energy efficiency, with special attention to the building envelope, in buildings of collective residential typology and in single-family homes, and these must be actions in which a reduction in non-renewable primary energy consumption of the building equal to or greater than 30% is obtained.

Los acuerdos internacionales sobre cambio climático y edificación

Las estrategias de mitigación al cambio climático en edificios a nivel internacional se centran principalmente en promover el ahorro energético, el uso de energías renovables, la gestión de residuos, la integración de vegetación en los proyectos edilicios (como techos, paredes y terrazas verdes), y la incorporación de elementos que faciliten el uso de transporte no motorizado (como la instalación de estacionamientos para bicicletas o de estaciones de carga para vehículos eléctricos), entre otros, y son aplicables en diferentes medidas tanto en edificios existentes, como en edificios de nueva construcción.

Las estrategias de adaptación al cambio climático están directamente relacionadas con el entorno específico en que se ubican los edificios. Por ejemplo, en un contexto donde el agua es un recurso escaso, y/o las proyecciones indican procesos de desertificación, las edificaciones pueden emplear estrategias que promuevan un uso eficiente del agua, la reducción del mismo, y/o el tratamiento de aguas, como la instalación de un sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales para uso, por ejemplo, en riego o descargas de sanitarios, la instalación de duchas y grifos de bajo flujo para cocinas, lavabos y baños, sanitarios de doble descarga, etc.³³

A estas estrategias de mitigación y adaptación se dedican desde 2015 principalmente los acuerdos de Naciones Unidas sobre cambio climático.

³⁰ TZIKOPOULOS, A. F., KARATZA, M. C., Y PARAVANTIS, J. A., *Modelling energy efficiency of bioclimatic buildings. Energy and buildings* (2005).

³¹ Royal Decree-Ley 19/2021, of 5 October, on urgent measures to promote building rehabilitation activity in the context of the Recovery, Transformation and Resilience Plan.

³² Royal decree 853/2021, of 5 October, by which regulate the programs of help in matter of residential rehabilitation and social housing of the Plan of Recovery, Transformation and Resiliencia.

³³ BID Ciudades, disponible en <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/edificios-vs-cambio-climatico-construyendo-adaptacion-y-mitigacion/>.

International agreements on climate change and edification

Climate change mitigation strategies in buildings at the international level focus mainly on promoting energy saving, the use of renewable energies, waste management, the integration of vegetation in building projects (such as roofs, walls and green terraces), and the incorporation of elements that facilitate the use of non-motorized transport (such as the installation of bicycle parking lots or charging stations for electric vehicles), among others, and are applicable in different measures both in existing buildings and in new buildings.

Climate change adaptation strategies are directly related to the specific environment in which buildings are located. For example, in a context where water is a scarce resource, and/or projections indicate desertification processes, buildings may employ strategies that promote efficient water use, water reduction, and/or water treatment, such as the installation of a wastewater collection and treatment system. For use, for example, in irrigation or sanitary discharges, the installation of showers and low flow taps for kitchens, sinks and bathrooms, double discharge toilets, etc.

Since 2015, these mitigation and adaptation strategies have been mainly dedicated to the United Nations agreements on climate change.

- El pionero Acuerdo de París 2015. COP24

Esta Conferencia de las Partes (COP), en el seno de Naciones Unidas, establece una serie de medidas para frenar el cambio climático, con el fin de que el calentamiento global no exceda de los 2°C y a poder ser, limitarlo a 1,5°C. Se trata del primer acuerdo universal sobre cambio climático celebrado en París en 2015.³⁴ La COP es un órgano internacional en el que se reúnen las partes de la Convención para tomar decisiones respecto al planeta y el cambio climático. Para proceder a la reducción de estas emisiones, se adoptaron los siguientes compromisos:

- Mantener la subida de la temperatura media mundial por debajo de 2°C de los niveles preindustriales.
- Limitar el aumento de la temperatura global a 1,5°C, reduciendo el impacto que produce el cambio climático.
- Que los países alcancen sus emisiones máximas globales cuanto antes.
- Realizar reducciones rápidas y conseguir un equilibrio entre emisiones y absorciones.

Para ello, los gobiernos deben tomar una serie de decisiones y medidas, como reunirse periódicamente valorar los progresos e informar de los avances que hayan obtenido al resto de gobiernos y por último evaluar el compromiso de cada país participante para que puedan rendir cuentas entre ellos. La UE se propuso el objetivo de conseguir una reducción del 55% de emisiones para 2030 respecto a los niveles de 1990. Al menos un porcentaje de participación del 32% de energías renovables en la generación de electricidad y la mejora en un 32,5% en la eficiencia energética. Seis años después apenas se ha avanzado en los objetivos de la COP24.

- The pioneering Paris Agreement 2015. COP24

This United Nations agreement, also known as COP24, establishes a series of measures to curb climate change, so that global warming does not exceed 2°C and if possible, limit it to 1.5°C. This is the first universal agreement on climate change concluded in Paris in 2015. The COP is an international body where the parties to the Convention meet to make decisions on the planet and climate change. To proceed with the reduction of these emissions, it was agreed:

1. Maintain the rise in the global average temperature below 2°C of pre-industrial levels.
2. Limit the increase in global temperature to 1.5°C, reducing the impact of climate change.
3. That countries reach their maximum global emissions as soon as possible.
4. Make rapid reductions and achieve a balance between emissions and removals.

To this end, governments must take a series of measures, such as meeting every five years and assessing progress, reporting on the different progress they have made to other governments and finally evaluating the commitment of each participating country so that they can be accountable among

³⁴ Acuerdo de París, 2015 (COP 24), Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es.

themselves. The EU set itself the target of achieving a 55% reduction in emissions by 2030 compared to 1990 levels. At least a percentage share of 32% of renewables in electricity generation and improvement by 32.5% in energy efficiency. Six years later, little progress has been made on the objectives of COP24.

- Conferencia sobre Cambio Climático 2019. Chile/Madrid. COP 25

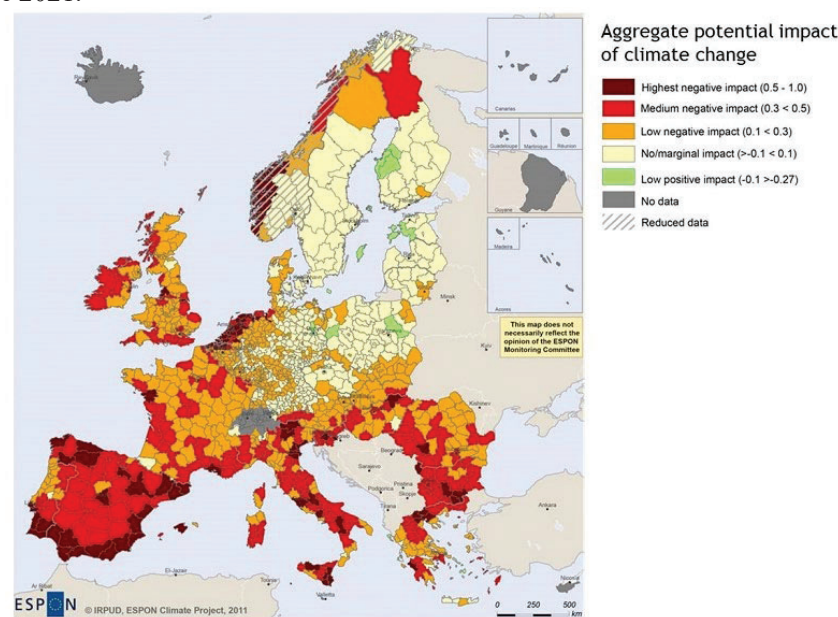
En esta Convención celebrada en Madrid bajo la presidencia de Chile, los países no salieron satisfechos con los acuerdos adoptados, aunque se aprecian tímidos avances en los objetivos perseguidos. Entorno a esta Cumbre se produjo una gran movilización social que exigían soluciones más rápidas y eficaces por parte de los gobiernos.³⁵

Esta COP instaba a la concienciación social y de nuevos compromisos capaces de salvar la fractura que se produjo respecto al acuerdo de París.

El nuevo acuerdo de 2019 planteó bases para que en 2020 todos los países presentaran nuevos compromisos de reducción de emisiones de manera que sea evidente la respuesta ante la preocupación climática, aunque menos de la mitad de los países se presentaron receptivos.

En contraste a la negativa de los países que no presentarían sus nuevas bases de cambio, la UE planteó un Nuevo Cambio Verde, donde se compromete con la neutralidad climática en 2050 y además convertir el Banco Europeo de Inversiones en un “Banco Climático” para obtener financiación de inversión.

Se insiste en la necesidad de medidas concretas de aplicación y una ejecución a escala nacional y de la Unión, como la aplicación efectiva de los objetivos en materia de energías renovables y eficiencia energética para 2030; seguridad energética y la reducción de la pobreza energética. La COP25 abordó estos temas, quedando pendiente de concreción en la reciente cumbre celebrada en Glasgow en noviembre de 2021.



Fuente: European Observation Network for Territorial Development and Cohesion. Programa ESPON 2020 (UE)

Es evidente que España es uno de los países más faltos de restricciones respecto a emisiones y junto con otros países, es necesario un avance en la adopción de medidas contundentes en el sector de la construcción para contribuir a mitigar el cambio climático.

³⁵ Madrid – cumbre del clima COP25. Disponible en: <https://www.dsn.gob.es/es/actualidad/sala-prensa/madrid-cumbre-del-clima-cop25>

- **Climate Change Conference 2019. Chile/Madrid. COP 25**

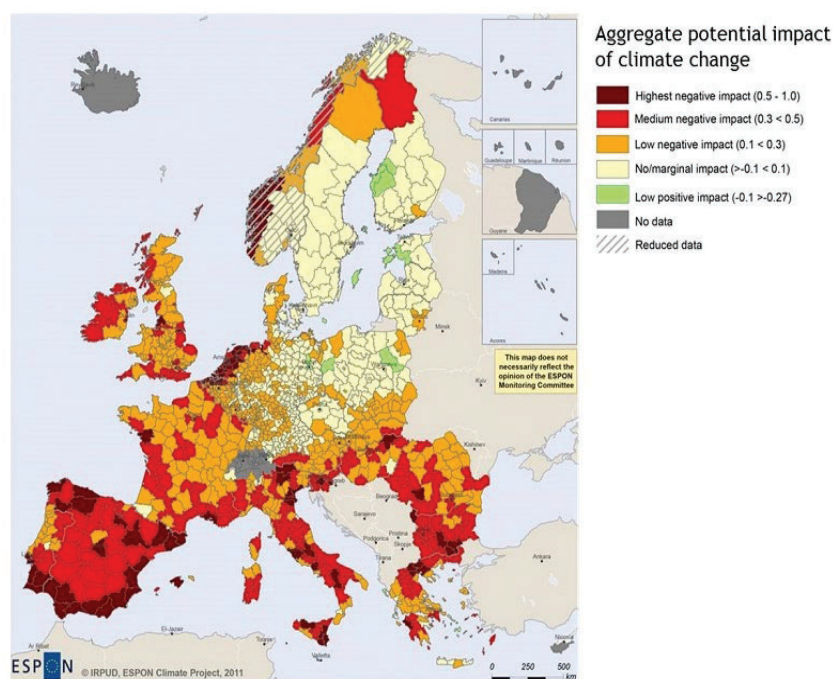
At this Convention held in Madrid under the presidency of Chile, the countries were not satisfied with what was finally agreed, although there was timid progress in the objectives pursued. Around this Summit there was a great social mobilization that demanded faster and more effective solutions from governments.³⁶

This COP called for social awareness and new commitments capable of bridging the fracture that occurred about the Paris agreement.

The new 2019 agreement laid the groundwork for all countries to submit new emission reduction commitments by 2020 so that the response to climate concerns is evident, although less than half of the countries were receptive.

In contrast to the refusal of countries that would not present their new bases of change, the EU proposed a Green New Change, where it commits to climate neutrality in 2050 and convert the European Investment Bank into a "Climate Bank" to obtain investment financing.

The need is insisted on the need for concrete implementation measures and implementation at NATIONAL and EU level, such as the effective implementation of the 2030 renewable energy and energy efficiency targets: energy security and the reduction of energy poverty. COP25 addressed these issues, which were still to be addressed at the recent summit in Glasgow in November 2021.



Fuente: European Observation Network for Territorial Development and Cohesion. Program ESPON 2020 (UE)

Spain is one of the countries most in need of two restrictions on emissions and together with other countries, progress is needed in the adoption of forceful measures to solve this problem.

³⁶ Madrid – COP25 climate summit. Available in: <https://www.dsn.gob.es/es/actualidad/sala-prensa/madrid-cumbre-del-clima-cop25>.

El reciente Acuerdo de Glasgow de 2021. COP26

Celebrada en Glasgow, Reino Unido en noviembre de 2021, esta conferencia ha trabajado para aumentar la ambición climática, crear resiliencia y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera³⁷.

La COP 26 nace marcada por la gran distancia existente entre la trayectoria del aumento de la temperatura del planeta y la de los compromisos nacionales adoptados por los gobiernos para cumplir el Acuerdo del Clima de París de 2015.

Las ciudades han puesto también la neutralidad climática y la mejora de su resiliencia en los retos de su agenda: - 1.049 ciudades y gobiernos locales son ahora parte de la iniciativa Race to Zero, entre ellas, 593 ciudades se han comprometido a cambiar hacia sistemas de energía resilientes y sostenibles, 501 están trabajando para construir edificios sin carbono, 415 apuntan a cambiar a cero residuos y 222 se han comprometido a desinvertir en combustibles fósiles.

En esta COP se reconoce la enormidad de los retrasos en el cumplimiento de los objetivos de París, a la espera de avances urgentes en la próxima conferencia en Egipto en 2022.

The recent Glasgow Agreement of 2021. COP26

Held in Glasgow, UK in November 2021, this conference has worked to increase climate ambition, build resilience, and reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere.³⁸

COP 26 was marked by the great distance between the trajectory of the increase in the planet's temperature and that of the national commitments adopted by governments to comply with the 2015 Paris Climate Agreement.

Cities have also put climate neutrality and improving their resilience into the challenges of their agenda: - 1,049 cities and local governments are now part of the Race to Zero initiative, and among them, 593 cities have committed to shift towards resilient and sustainable energy systems, 501 are working to build carbon-free buildings, 415 aim to switch to zero waste and 222 have committed to divest from carbon-free buildings.

This COP recognizes the enormity of delays in meeting the Paris targets, pending urgent progress at the next conference in Egypt in 2022.

Conclusiones

La eficiencia energética debe ser una de las prioridades de las agendas de todos los gobiernos, y a escala mundial, europea, estatal y, por ende, autonómica deben implementarse medidas inaplazables diferentes para reducir drásticamente las emisiones de los gases efectos invernadero.

Los países deben presentar planes nacionales de acción climática más ambiciosos en 2022 para lograr el objetivo del Acuerdo de París de mantener el aumento de la temperatura media mundial lo más cerca posible de 1,5 °C para el final del siglo. Para ello, en el sector de la construcción deben destinarse las ayudas europeas, (fondos next Generation) a la rehabilitación de viviendas vulnerables, con falta de recursos y pobreza energética, aprovechando las ayudas que el Consejo Europeo ha destinado a la acción climática, para hacer frente a la descarbonización de los edificios tanto existentes como de nueva planta.

En España, urge iniciar un proceso de revisión de los objetivos climáticos y de implantación de energías renovables en 2022 para atender la nuevas promociones de viviendas.

Conclusions

Energy efficiency must be one of the priorities of the agendas of all governments, and at the global, European, state and, therefore, regional scales, different measures must be implemented to drastically reduce greenhouse gas emissions.

Countries must submit more ambitious national climate action plans in 2022 to achieve the Paris Agreement goal of keeping global average temperature rise as close to 1.5°C as possible by the end of the century. To this end, in the construction sector, European aid (next generation funds) must be allocated to the rehabilitation of vulnerable homes, with lack of resources and energy poverty, taking

³⁷ Conferencia de la ONU sobre el cambio climático (COP 26 CMNUCC). Disponible en: <https://sdg.iisd.org/events/2020-un-climate-change-conference-unfccc-cop-26/>. 2021.

³⁸ UN Climate Change Conference (COP 26 UNFCCC). Available in: <https://sdg.iisd.org/events/2020-un-climate-change-conference-unfccc-cop-26/>. 2021.

advantage of the aid that the European Council has allocated to climate action, to deal with the decarbonization of both existing and new buildings.

In Spain, it is urgent to start a process of review of climate objectives and the implementation of renewable energies in 2022 to meet the new housing developments.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

Acuerdo de París, 2015 (COP) Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/politicas/internacional/negotiations/paris_es.

ALMENAR-MUÑOZ, M. & ANTEQUERA TERROSO, E. *Acerca del procedimiento de evaluación ambiental estratégica y la incardinación de la salud en el proceso de elaboración de los planes*, en Marco legal y procedimental de la Ordenación del Territorio en España: diagnóstico y balance, Aranzadi, 2021.

BID Ciudades, disponible en <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/edificios-vs-cambio-climatico-construyendo-adaptacion-y-mitigacion/>.

Calentamiento global de 1,5°C. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (IPCC), 2019. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf.

Conferencia de la ONU sobre el cambio climático (COP 26 CMNUCC). Disponible en: <https://sdg.iisd.org/events/2020-un-climate-change-conference-unfccc-cop-26/>. 2021.

Cumbre del clima COP25. Madrid. Disponible en: <https://www.dsn.gob.es/es/actualidad/sala-prensa/madrid-cumbre-del-clima-cop25>.

DÍAZ A., MARRERO, Á.S., PUCH, L.A., RODRÍGUEZ LÓPEZ, J., *Economic growth, energy intensity and the energy mix*. Energy Economics, Volume 81, 2019.

Emission Omissions. Carbon accounting gaps in the built environment. International Institute for Sustainable Development, 2019

ESTRADA, F., *A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts*, Nature Climate Change, 2017. Disponible en: https://www.nature.com/articles/nclimate3301?WT.feed_name=subjects_biological-sciences.

Estrategia de descarbonización a largo plazo 2050, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid, 2020.

GIELEN, E, ALMENAR MUÑOZ, M, y PALENCIA-JIMÉNEZ, J.S, *Disparidad territorial en la implantación de la energía solar en España*. La regulación de la energía limpia ante la emergencia climática. Capítulo III. 2020.

HERNÁNDEZ SÁNCHEZ, J. M., *Medidas de mejora de la eficiencia energética de edificios residenciales*, Departament de Projectes d'Enginyeria de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2011, p. 2. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/15061>.

La descarbonización de la edificación, Green Building Council España, 2020. Disponible en: <https://gbce.es/wp-content/uploads/2020/11/Informe-La-descarbonizacio%CC%81n-de-la-edificacio%CC%81n.pdf>.

LINARES GIL, C.: científica titular del Instituto de Salud Carlos III e integrante del equipo de expertos para el Sexto Informe del IPCC sobre el cambio climático.

SANTAMOURIS, M., *On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings*, I.P. Koronaki Elsevier Science Ltd. Vol. 70, No. 3, pp. 201–216), 2001.

STIEBERT, S., *Emission Omissions: Carbon accounting gaps in the built environment*, 2019.

TOVA HOLGADO, E., *Almacenamiento de energía: clave para la descarbonización*. INERCO, 2019.

TZIKOPOULOS, A. F., KARATZA, M. C., Y PARAVANTIS, J. A., *Modelling energy efficiency of bioclimatic buildings*. Energy and buildings ,2005.

TURIEL A, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2021, <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/antonio-turiel-la-escasez-de-materiales>.

Visor interactivo de datos de European Environment Agency (EEA). Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>.

MONITORAGGIO DELLA RISPOSTA DINAMICA DELL'OCCHIO ALLE CONDIZIONI DI ILLUMINAZIONE DURANTE ATTIVITÀ DI PROGETTAZIONE DEGLI EDIFICI

MONITORING THE EYE DYNAMIC REPOSE TO LIGHTING CONDITIONS WHILE PERFORMING BUILDING DESIGN ACTIVITIES

Paolo Colombo

*Studente di Laurea Magistrale in Ingegneria edile e delle costruzioni, Dipartimento ABC, Politecnico di Milano. Laurea in Ingegneria edile e delle costruzioni. E-mail: paolo40.colombo@mail.polimi.it
Master of science student in Building Engineering, ABC Department, Politecnico di Milano. BSc in Building Engineering. E-mail: paolo40.colombo@mail.polimi.it*

Juan Diego Blanco Cadena

*Assegnista di ricerca, Dipartimento ABC, Politecnico di Milano. LM in Ingegneria dei Sistemi Edilizi, PhD in Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito. E-mail: juandiego.blanco@polimi.it
Post-graduate research fellow in ABC Department, Politecnico di Milano and member of the research group SEEDLab. MSc in Building and Architectural Engineering and PhD in Architecture, Built Environment and Construction Engineering. E-mail: juandiego.blanco@polimi.it*

Tiziana Poli

*Professore ordinario, Dipartimento ABC, Politecnico di Milano. Coordinatore del corso di Laurea in Ingegneria Edile e delle Costruzioni, Scuola AUIC, Coordinatore del comitato scientifico del dipartimento ABC e membro del comitato esecutivo del Laboratorio DABC, Politecnico di Milano. LM in Architettura, PhD in Ingegneria Edile. E-mail: tiziana.poli@polimi.it
Full Professor, ABC Department, Politecnico di Milano. Head of Building and Construction Engineering BScEng Degree, AUIC School, coordinator of Scientific Board of ABC Dept and Advisory Board Member of dABC Laboratory (experimental Laboratory for construction sector), Politecnico di Milano. M.Sc Architecture, PhD in Building Engineering at Politecnico di Milano. E-mail: tiziana.poli@polimi.it*

Abstract

There are several factors that interact in the perception of light and glare, so estimating them is still a challenge for those who design and manage an indoor environment. These factors are directly related to eye behavior, but the difficulty remains in identifying all of them and quantifying their correlation. Therefore, the work focused on identifying additional factors that may influence the perception of light; and using and transferring technology from a currently growing field (digital and computational) to improve the processes and strategies implemented for managing the lighting environment within buildings. Therefore, a measurement campaign was planned in an office building in the city of Milan (Italy) to monitor the eye behavior (using a pupilometer) and the light environment of a workstation; and the obtained results were compared with computed glare values with existing methodologies starting from the measured lux value and simulated through ray-tracing simulations. During the experimental campaign, the horizontal illuminance (E_h) and the pupil diameter (PD) were measured, while the glare was calculated as Daylight Glare Index (DGI) and Daylight Glare probability (DGP). There was a correspondence between pupil response and the illuminance value (confirming the potential already highlighted in the literature) with an almost immediate reaction, which can help to solve the low responsivity of current strategies and systems.

Keywords

Visual comfort, Glare, Daylight, Eye-tracker

Introduzione

Nella progettazione illuminotecnica, sia all'interno degli edifici o negli ambienti esterni, uno degli aspetti più complessi da analizzare e misurare è l'abbagliamento. Diverse sono le strategie di controllo e mitigazione che possono essere implementate per evitare questo fenomeno, ma ancora non esistono dei sensori che ci permettano di capire come e quando attivare dei sistemi di protezione. Inoltre, molteplici sono i metodi di calcolo e previsione di esso (CIE112, 1994; CIE146/147, 2002; ISO/CIE 8995-3, 2018), con diverse formule e fattori di correzione per ottenere un risultato che rappresenti nel miglior modo come l'abbagliamento viene o verrebbe percepito dall'uomo dovuto all'ambiente che lo circonda.

Nonostante, le metodologie di calcolo risultano poco robuste (Wienold et al., 2019), semplificate e imprecise, o al contrario molto dispendiose per coprire un ambiente intero (Galatioto & Beccali, 2016; Tregenza & Mardaljevic, 2018); e, per le strategie da implementare durante l'utilizzo dell'edificio, risultano poco praticabili. A tal proposito, i ricercatori hanno esplorato la possibilità di migliorare e/o facilitare e velocizzare le metodologie di calcolo dell'abbagliamento e la sua stima indiretta. Alcuni si sono rivolti all'utilizzo di correlazioni con i valori di illuminamento; in particolare con l'illuminamento verticale a livello dell'occhio (Hviid et al., 2008; Jan Wienold, 2007). Altri invece, propongono di stimare il livello di abbagliamento partendo dal comportamento dell'occhio (analizzando sia la movimentazione delle palpebre, che la dimensione della pupilla) (Choi & Zhu, 2015; Hamedani et al., 2020; Yamin Garretón et al., 2015). Di conseguenza, riuscendo a trovare un metodo oggettivo che permette di misurare e monitorare la reazione fisiologica di essere abbagliato attraverso tecnologie nuove come l'eye-tracker, per fornire una maggiore precisione nello studio e abilitare una futura e potenziale integrazione nell'edificio esistente o in nuovi edifici durante la loro operazione.

Di fatto, questo approccio permette ai progettisti e ricercatori di considerare alcuni aspetti che attualmente vengono esclusi nella metodologia stabilità e che sono stati individuati come possibili fattori di errori o deviazioni. Per esempio, la capacità di adattamento, effetto di saturazione, le condizioni pregresse, e la salute dell'occhio (Pierson et al., 2018).

Yamin Garretón et al. (2015) hanno analizzato la risposta delle palpebre di 20 soggetti esposti a diverse condizioni di intensità di luce naturale che hanno portato a identificare l'ampiezza dell'occhio (DEO) come un potenziale indicatore indiretto della condizione di abbagliamento. Diversamente, Choi & Zhu, (2015), hanno valutato la correlazione tra la dimensione della pupilla e la percezione dell'ambiente luminoso, trovando come indicatore consistente la variazione della dimensione normalizzata della pupilla rispetto alle variazioni ricreate dell'ambiente luminoso con lampade LED. Hamedani et al. (2020) hanno analizzato la risposta dell'occhio di più di 90 soggetti in diverse condizioni ambientali con luce naturale a traverso un eye-tracker e sono state confrontate con un questionario soggettivo della loro esperienza e delle ridotte misure del livello di Luminanza di un campo visivo fisso. Loro hanno confermato ulteriormente che la media della dimensione della pupilla può essere considerata come un indicatore rappresentativo dell'abbagliamento dato dall'eccessiva luminanza. Purtroppo, questi test sono stati fatti per una durata limitata, i soggetti hanno sviluppato delle task dedicate che non riguardano le loro attività tipiche in ufficio, non hanno considerato come fonte luminoso entrambi luce naturale e artificiale, la postazione settata non è rappresentativa, non è disponibile informazione dettagliata dei soggetti coinvolti e i risultati ottenuti non sono ancora soddisfacenti.

Pertanto, questo lavoro si è concentrato in contribuire a supportare l'utilizzo del comportamento dell'occhio per la stima della condizione di abbagliamento e utilizzare e trasferire la tecnologia da un settore attualmente in crescita (digitale e computazionale) per migliorare i processi e le strategie implementate per la gestione dell'ambiente luminoso all'interno degli edifici. Per fare ciò, una campagna di misurazione è stata programmata con sensori di illuminamento e un pupillometro per monitorare il comportamento dell'occhio (in particolare il diametro della pupilla) e le condizioni del ambiente luminoso (illuminamento orizzontale) in una postazione di lavoro; i risultati ottenuti sono stati confrontati con dei valori computati di abbagliamento con le metodologie esistenti a partire dal valore di lux misurato e simulato attraverso simulazioni di ray-tracing in una rappresentazione digitale dell'ambiente fisico utilizzando un modellatore 3D (Rhinceros) e un motore di calcolo validato (Radiance).

Introduction

In lighting design, whether inside buildings or in outdoor environments, one of the most complex aspects to analyze and measure is glare. There are several control and mitigation strategies that can be implemented to avoid this phenomenon, yet there are no sensors that allow to understand how and when to activate alleviating systems. Moreover, there are many methods available for calculating and predicting it (CIE112, 1994; CIE146/147, 2002; ISO/CIE 8995-3, 2018), with different formulas and correction factors to obtain a result that represents in the best way how glare is or would be perceived by humans due to the environment that surrounds them.

Nevertheless, the calculation methodologies are not very robust (Wienold et al., 2019), simplified and inaccurate, or, on the contrary, time consuming to map an entire room (Galatioto & Beccali, 2016; Tregenza & Mardaljevic, 2018); and, regarding the strategies to be implemented during the operation phase of the building, they are mostly impractical. Therefore, researchers have explored the possibility of improving and/or facilitate and speed up the methodologies for computing and determining glare and its indirect estimation, starting from the behavior of the eye (analyzing both eyelid movement and pupil size) (Choi, J., and Rui Z., 2015; Garretón, JA Yamin, et al., 2015). Consequently, managing to find an objective method that allows measuring the physiological reaction of being visually disturbed using new technologies such as the eye-tracker, to provide greater accuracy in the study and enabling potential integration into existing buildings during or new buildings in their operation phase.

In fact, this approach would allow designers and researchers to consider some aspects that are currently excluded in stability methodology and that have been identified as possible drivers of errors or deviations. For example, adaptation capacity, saturation effect, prior conditions or experiences, and eye health state (Pierson et al., 2018).

Yamin Garretón et al. (2015) analysed the eyelid response of 20 subjects exposed to different daylight intensity conditions that led to the identification of the eye aperture amplitude (i.e. Degree of Eye Opening, DEO) as a potential indirect indicator of glare condition. Differently Choi & Zhu, (2015) assessed the correlation between pupil size and the perception of the luminous environment, finding the variation in a normalized pupil size as a consistent indicator with respect to the recreated alterations of the luminous environment with LED lamps. Hamedani et al. (2020) analysed the eye response trend of more than 90 subjects in different environmental conditions with natural light through an eye-tracker and compared it with a subjective questionnaire of their experience and reduced number of Luminance level measurements of a fixed field of view. They have further confirmed that the average pupil size (i.e. the average pupil diameter) can be considered as a representative quantitative and objective indicator of glare from excessive luminance. Unfortunately, these tests have been done for a limited duration, the subjects have developed dedicated tasks that do not relate to their typical activities in the office, they have not considered as light source the combined effect of natural and artificial light, the workstation location set is not representative of an interior office layout, detailed information of the subjects involved is not available and the results obtained are not yet satisfactory.

Therefore, this work focused on extending the knowledge of and supporting the use of eye behaviour for estimating objectively glare condition and utilize and transfer technology from a currently growing field (digital and computational) to improve the processes and strategies implemented for managing the lighting environment within buildings. To do so, a measurement campaign was programmed with illuminance sensors and a pupillometer to monitor the eye behaviour (in particular pupil diameter) and the luminous environment (horizontal illuminance) at a workstation; and the results obtained were compared with computed glare values using established methodologies from the measured lux values and simulated through ray-tracing simulations in a digital representation of the physical environment using a 3D modeler (Rhinoceros) and a validated computational engine (Radiance).

Metodologia

Materiali

In una postazione di lavoro tipica orientata di tal modo che la luce naturale arriva dal lato, da una facciata orientata verso sud, in un edificio per uffici nella città di Milano (Italia) è stato installato un sensore di illuminamento orizzontale (GY-302 BH1750 Licht Sensor) e una macchina fotografica (GoPro Hero) per monitorare e validare la condizione di luce all'interno. Inoltre, un eye-tracker (PuliCore, www.pupil-labs.com) è stato indossato da uno degli autori per il monitoraggio del comportamento dell'occhio durante due tipi diversi di condizione di cielo (sereno e coperto). Un modello digitale semplificato dell'edificio, e uno dettagliato della stanza in cui si è sviluppato il test, sono stati utilizzati per simulare e calcolare il potenziale livello di abbagliamento durante un periodo di tempo ridotto, ma significativo, con Ladybug Tools (www.ladybug.tools) e Rhinoceros (<https://www.rhino3d.com/>).

Informazione del soggetto

Uno degli autori è stato partecipante dell'analisi come soggetto. Il monitoraggio è stato fatto per un tempo considerabile con l'intenzione di escludere il potenziale bias risultante dalla sensibilità all'abbagliamento auto valutato. In termini generali, il soggetto è un maschio, tra i 20 e 25 anni, con condizione di vista ottime (non ha bisogno di correzioni), tra 1.80 e 1.90 m di altezza e pigmentazione iride azzurra.

Condizione testate

Sono state monitorate e simulate condizioni diverse, nella medesima settimana per garantire una altezza solare equiparabile tra di loro.

- giornata intera col cielo sereno e soleggiato (13/09/2021);
- giornata di cielo sereno soleggiato al mattino e coperto nel pomeriggio (14/09/2021).

Postazione

La postazione monitorata è stata fornita da un sensore di illuminamento, posizionato a 10 cm dal bordo della scrivania permettendo al soggetto di lavorare sul computer per eseguire le sue attività mentre indossa il eye-tracker (Figura 1). La macchina fotografica è stata posizionata per inquadrare tutta la postazione per poi permettere di validare qualitativamente la distribuzione dell'intensità di luce all'interno dell'ambiente. Questo ha permesso di rilevare:

- illuminamento orizzontale (E_h) sul piano di lavoro; e
- diametro della pupilla (PD) di entrambi gli occhi.

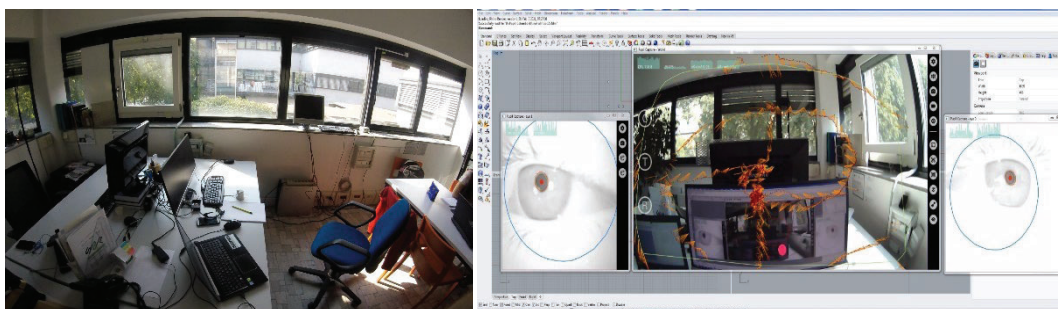


Figura 1. Postazione di lavoro monitorata e dashboard output del eye-tracker.

Figure 1. Surveyed Workstation and eye-tracker output dashboard.

Modello digitale

Rappresenta un modello 3D dell'edificio dove si trova la postazione e la scrivania dove il soggetto è stato monitorato. Include anche delle ostruzioni esterne (edifici ed alberi) che modificano l'ingresso della luce naturale. Valori tipici di proprietà ottiche sono stati assegnati alle superfici esterne ($\rho = 0.50$) ed interne ($\rho_{\text{pareti e soffitto}} = 0.60$ e $\rho_{\text{pavimento}} = 0.20$), mentre gli alberi sono stati modellati come superfici traslucide (Figura 2). Questi hanno permesso di valutare la probabilità di percepire abbagliamento (DGI e DGP).

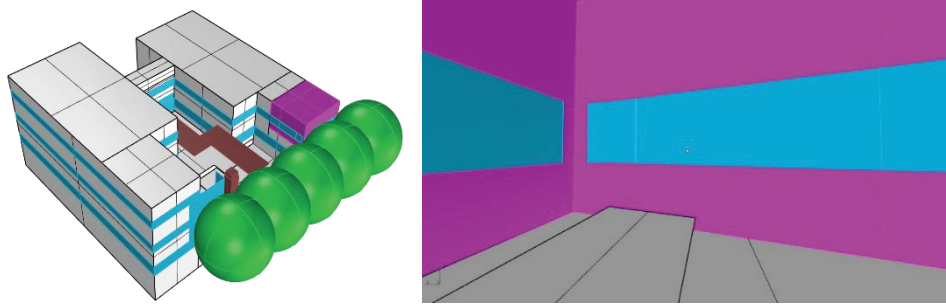


Figura 2. Postazione di lavoro monitorata e dashboard output del eye-tracker.
Figure 2. Surveyed Workstation and eye-tracker output dashboard.

Methodology

Materials

In a typical workstation oriented in such a way that natural light arrives sideways from a facade facing south, in an office building in the city of Milan (Italy), a horizontal illuminance sensor (GY-302 BH1750 Licht Sensor) and a camera (GoPro Hero) were installed to monitor and validate the indoor lighting condition. In addition, an eye-tracker (PuliCore, www.pupil-labs.com) was worn by one of the authors to monitor eye behavior during two different types of sky conditions (clear and overcast). A simplified digital model of the building, and a detailed one of the room where the test took place, were used to simulate and calculate the potential glare level during a short but relevant time period with Ladybug Tools (www.ladybug.tools) and Rhinoceros (<https://www.rhino3d.com/>).

Information on the subject

One of the authors volunteered to participate in the analysis as a subject. Monitoring was done for a considered length with the intention of excluding potential bias resulting from self-assessed glare sensitivity. In general terms, the subject is a male, between 20 and 25 years of age, with excellent vision condition (no need for correction), between 1.80 and 1.90 m in height and blue iris pigmentation.

Tested conditions

Different conditions have been monitored and simulated in the same week to ensure comparable solar height.

- full day with clear and sunny sky (13/09/2021);
- day with clear and sunny sky in the morning and overcast in the afternoon (14/09/2021).

Workstation

The monitored workstation was supplied with an illuminance sensor, placed 10 cm from the edge of the desk allowing the subject to work on the computer to perform his tasks while wearing the eye-tracker (Figure 1). The camera was positioned to frame the entire workstation to then allow a qualitative validation of the distribution of light intensity within the environment. This enabled the survey of:

- horizontal illuminance (E_h) on the work plane; and
- pupil diameter (PD) of each eye.

Digital model

It is a representation as a 3D digital model of the building where the workstation is located and the desk where the subject was monitored. It also includes external obstructions (buildings and trees) that modify the daylight influx. Typical values of optical properties were allocated to exterior ($\rho = 0.50$) and interior surfaces ($\rho_{\text{pareti e soffitto}} = 0.60$ and $\rho_{\text{pavimento}} = 0.20$), while trees were modeled as translucent surfaces (Figure 2). These allowed to accurately assess the probability of perceived glare for an specific period of time (DGI and DGP).

Risultati

I risultati ottenuti hanno evidenziato una risposta più consistente nella giornata soleggiata, ovvero per i dati raccolti durante il giorno 13/09.

Andamento dell'illuminamento e della risposta dell'occhio

Attraverso l'utilizzo dell'eye-tracker è stato possibile rilevare la risposta di entrambi gli occhi del soggetto durante il periodo di analisi. Ciò ha permesso anche di evidenziare come gli occhi, in particolare le pupille (i.e. mean_PD), in un breve lasso di tempo si comportano in modo diverso (Figura 3) però la tendenza sembrerebbe di essere assimilabile. In un lavoro futuro si studierà in dettaglio come queste differenze possono influenzare la percezione di comfort del soggetto.

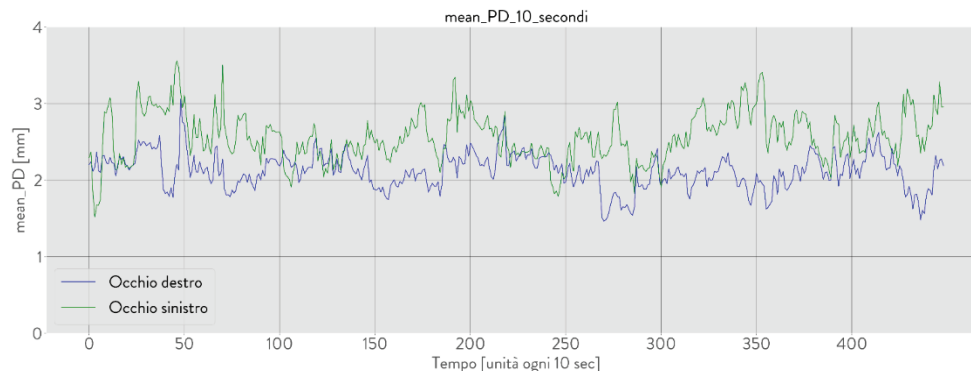


Figura 3. Andamento del PD per ognuno degli occhi per un periodo specifico di alta intensità di luce nel 13/09.
Figure 3. PD trend for each eye for a specific timeframe of high light intensity on the 13/09.

Per tanto, solo l'occhio destro è stato studiato, dato che è più vicino alla fonte di luce e di abbagliamento (i.e. finestra e sole) e si spera che abbia una risposta più evidente rispetto alle variazioni dell'ambiente luminoso. Per facilitare questo processo, si è deciso di analizzare un lasso di tempo più corto (i.e. 10 min) in cui si è registrato il valore picco di E_h .

Questo si evince nella Figura 4: quando la pupilla si contrae, aumenta l'intensità della luce sul piano di lavoro aumenta (dalle 12:54 alle 13:26), quando si espande, l'intensità della luce si riduce (13:42 alle 14:06), anche se con uno sfasamento temporale (dalle 13:39 alle 13:45).

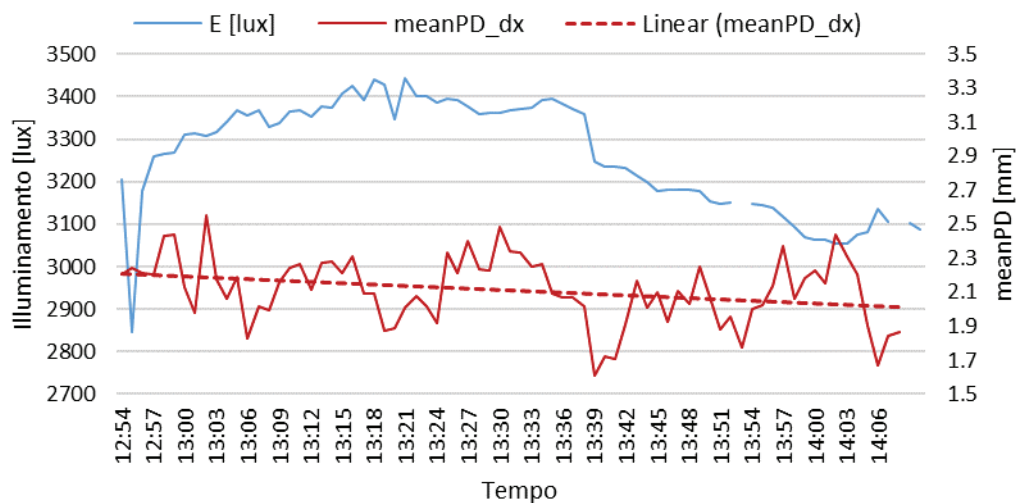


Figura 4. Andamento del E_h e della media del PD del occhi destro (dx) nel periodo di massima intensità di luce nel 13/09.
Figure 4. Trend of the E_h and the mean PD of the right eye (dx) for the timeframe of highest light intensity on the 13/09.

Computo dell'abbagliamento in ambiente virtuale

I valori di E_h per le ore 13:00 (condizione picco di E_h) sono stati validati con i valori stimati con Radiance dentro il modello digitale creato in Rhinoceros. Ottenendo una differenza assoluta pari a 19 lux, ovvero $< 0.01\%$ differenza relativa, si è ipotizzato che l'ambiente luminoso è equiparabile.

Successivamente, è stata valutata una condizione critica di abbagliamento come $DGI = 23.4$ e $DGP = 0.59$, considerando i valori di luminanza nel campo visivo del soggetto. È stata considerata un'unica direzione dello sguardo verso il monitor del computer dato che è molto probabile che sia la direzione prevalente dello sguardo durante l'arco lavorativo (Figura 5).

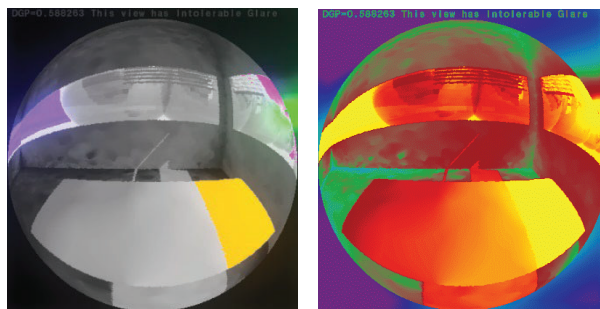


Figura 5. Campo visivo utilizzato per il calcolo del DGI e DGP per le 13:00 nel 13/09.
Figure 5. Visual field used for the DGI and DGP calculation at 13:00 on the 13/09.

Confrontando i valori ottenuti di condizione di abbagliamento, con i valori di $mean_PD$ nello stesso intervallo di tempo: si evince come la dimensione della pupilla è ~ 2 mm, e dopo, inizia a diminuire sempre sotto i 2 mm. Considerando che in una condizione neutrale la pupilla di un giovane ha una dimensione tra i 4 - 5 mm (Birren et al., 1950) e la sua contrazione è $\sim -40\%$, la condizione può essere verificata come intollerabile e critica (Choi & Zhu, 2015).

Results

From the results obtained, it showed a more consistent response during the day with the sunny and clear sky conditions, so this work presents only the results obtained for such date (13/09).

Illuminance and eye response trend

Through the use of the eye-tracker it was possible to detect the response of both eyes of the subject during the period of analysis. This also made it possible to highlight how in the eyes, for a short period of time, the pupils (i.e. $mean_PD$) behave differently (Figure 3) but the trend would seem to be similar. In future work, the authors will further study in detail how these differences may affect the subject's perception of visual comfort.

Therefore, only the right eye was studied hereafter, as it is closer to the source of light and glare (i.e., window and sun) and hopefully has a more noticeable response with respect to fluctuations in the luminous environment. To facilitate this process, a shorter time frame (i.e., 10 min) was decided to be screened in which the peak of E_h was recorded.

This is evident in Figure 4 when the pupil either contracts in accordance with increasing light intensity on the task plane (from 12:54 to 13:26) or expands when the light intensity is diminishes (from 13:42 to 14:06), albeit with a time lag (13:39 to 13:45).

Estimating the glare condition in the virtual environment

The E_h values for 13:00 hours (E_h peak condition) were validated with the values estimated with Radiance inside the digital model created in Rhinoceros. Obtaining an absolute difference of 19 lux, thus $< 0.01\%$ relative difference, the light environment was assumed to be analogous.

Then, a critical glare condition was found for such luminous environment, given that $DGI = 23.4$ and $DGP = 0.59$ were computed, considering luminance values in the subject's field of view. A

single direction of gaze toward the computer monitor was considered, as it is most likely the prevailing direction (Figure 5).

Comparing the obtained values of glare condition in the digital environment with the values monitored for mean_PD at the same timeframe: the pupil size is ~ 2 mm, and after that, it starts to decrease always below 2 mm. Considering that in a neutral condition the pupil of a young person has a size between 4 - 5 mm (Birren et al., 1950), and its contraction is ~ -40 %, the condition can be verified as intolerable and critical (Choi & Zhu, 2015).

Conclusions

- There is a correspondence between the pupil response (in terms of mean_PD) and the illuminance value monitored on the work plane (E_h) during the measurement campaign. Confirming the potential already highlighted in literature for the use of technologies based on image processing analysis to improve the glare estimates (differently from subjective surveys) and a future application for monitoring systems (even in a personalized manner).
- The response of the eye is almost immediate (with less than 5 minute time shift), which may contribute to solve the lack of responsiveness of current plant systems.
- However, the value of mean_PD fluctuates significantly in time, and its response may also be due to other stimuli (Hess & Polt, 1960), which have yet to be studied and integrated in the analysis.
- The angular dependence of the perception of visual comfort is marked in the difference between the eye patterns, in this case given that the window where the natural light source is located sideways.
- It can be noted that for the simulated moment in time (13:00) there is a critical glare condition ($DGI > 19$ and $DGP > 0.35$) and the mean_PD is very low (< 2 mm, pupil size reduction above 30% with respect to a neutral condition (Choi & Zhu, 2015)).

Conclusioni

- C'è una corrispondenza tra la risposta della pupilla (in termini di mean_PD) e il valore di illuminamento monitorato sul piano di lavoro (E_h) durante la campagna di misurazione. Confermando il potenziale già evidenziato in letteratura dell'utilizzo di tecnologie basate sull'analisi di immagini per migliorare la stima dell'abbagliamento (diverso i questionari soggettivi) e una futura applicazione in sistemi di monitoraggio (anche in modo personalizzato).
- La risposta dell'occhio è quasi immediata (con uno scostamento minore ai 5 min), il quale può contribuire a risolvere la poca responsività dei sistemi/impianti attuali.
- Il valore di mean_PD è comunque molto variabile nel tempo, e la sua risposta può essere anche dovuta ad altri stimoli (Hess & Polt, 1960), che devono essere ancora studiati e considerati nelle analisi.
- La dipendenza angolare del benessere visivo è marcata nella differenza tra l'andamento degli occhi, in questo caso dato che la finestra dove si trova la sorgente di luce naturale è a fianco.
- Si vede come per l'orario simulato (13:00) c'è una condizione critica di abbagliamento ($DGI > 19$ e $DGP > 0.35$) e il mean_PD è molto basso (< 2 mm, riduzione della dimensione della pupilla oltre il 30% rispetto ad una condizione neutrale (Choi & Zhu, 2015)).

Finanziamento/Funding

ABC Department - Politecnico di Milano, finanziamento delle attività per la valorizzazione della ricerca e TM DABC.

REFERENZE/REFERENCES

- Birren, J. E., Casperson, R. C., & Botwinick, J. (1950). «Age Changes in Pupil Size». *Journal of Gerontology*, 5(3), 216–221. <https://doi.org/10.1093/geronj/5.3.216>
- Choi, J.-H., & Zhu, R. (2015). «Investigation of the potential use of human eye pupil sizes to estimate visual sensations in the workplace environment». *Building and Environment*, 88, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.025>
- CIE112. (1994). *Glare Evaluation System for Use Within Outdoor Sports and Area Lighting*.
- CIE146/147. (2002). *CIE Equations for Disability Glare*.
- Galatioto, A., & Beccali, M. (2016). «Aspects and issues of daylighting assessment: A review study». In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 66, pp. 852–860). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.018>
- Hamedani, Z., Solgi, E., Hine, T., & Skates, H. (2020). «Revealing the relationships between luminous environment characteristics and physiological, ocular and performance measures: An experimental study». *Building and Environment*, 172(December 2019), 106702. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106702>
- Hess, E. H., & Polt, J. M. (1960). «Pupil Size as Related to Interest Value of Visual Stimuli». *Science*, 132(3423), 349–350. <https://doi.org/10.1126/science.132.3423.349>
- Hviid, C. A., Nielsen, T. R., & Svendsen, S. (2008). «Simple tool to evaluate the impact of daylight on building energy consumption». *Solar Energy*, 82(9), 787–798. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.03.001>
- ISO/CIE 8995-3. (2018). *Lighting of work places — Part 3: Lighting requirements for safety and security of outdoor work place*.
- Jan Wienold. (2007). «Dynamic simulation of blind control strategies for visual comfort and energy balance analysis». *Building Simulation 2007*, 1197–1204.
- Pierson, C., Wienold, J., & Bodart, M. (2018). «Review of Factors Influencing Discomfort Glare Perception from Daylight». *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 14(3), 111–148. <https://doi.org/10.1080/15502724.2018.1428617>
- Tregenza, P., & Mardaljevic, J. (2018). «Daylighting buildings: Standards and the needs of the designer». *Lighting Research and Technology*, 50(1), 63–79. <https://doi.org/10.1177/1477153517740611>
- Wienold, J., Iwata, T., Sarey Khanie, M., Erell, E., Kaftan, E., Rodriguez, R., Yamin Garretón, J., Tzempelikos, T., Konstantzos, I., Christoffersen, J., Kuhn, T., Pierson, C., & Andersen, M. (2019). «Cross-validation and robustness of daylight glare metrics». In *Lighting Research & Technology*. <https://doi.org/10.1177/1477153519826003>
- Yamin Garretón, J. A., Rodriguez, R. G., Ruiz, A., & Pattini, A. E. (2015). «Degree of eye opening: A new discomfort glare indicator». *Building and Environment*, 88, 142–150. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.010>

GRANDES PLANTAS INDUSTRIALES SOSTENIBLES. CASO DE ESTUDIO DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS MISMAS

LARGE SUSTAINABLE INDUSTRIAL PLANTS. CASE STUDY OF THEIR DESIGN AND CONSTRUCTION

Javier Cárcel-Carrasco

Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es

PhD. from the polytechnic university of Valencia. Full professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. E-mail: fracarc1@csa.upv.es

Aurora Martínez-Corral

Ph. D. por la Universitat Politècnica de Valencia. Profesora asociada en el departamento de Construcciones Arquitectónicas de la UPV. E-mail: aumarcor@csa.upv.es

PhD. from the polytechnic university of Valencia. Professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. E-mail: aumarcor@csa.upv.es

M^a Carmen Carnero

Ph D. Profesora titular de universidad. Departamento de organización de empresas de la UCLM. Codirectora del grupo de investigación PREDILAB. E-mail: carmen.carnero@uclm.es.

PhD. Full professor in the Department of business organisation at the UCLM. Co-director of the PREDILAB research group. E-mail: carmen.carnero@uclm.es.

José Ramón Albiol-Ibáñez

Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: joalib1@csa.upv.es

Resumen

En el presente artículo se ha estudiado el diseño de grandes plantas industriales, haciendo énfasis en los parámetros como la mejora de la fiabilidad, el mantenimiento y la operación eficiente, así como la eficiencia energética y las preocupaciones ambientales. Decisiones clave como la fiabilidad de las instalaciones e instalaciones, la reducción de los intervalos de tiempo, la eficiencia energética y el análisis de impacto ambiental afectan el diseño de una nueva planta industrial. Los pasos destacados son enumerados por la Dirección de Ingeniería y Mantenimiento, con el apoyo del presidente y la Dirección General de la industria. La fábrica ha establecido un referente para la industria y actualmente es una de las primeras empresas de su sector a nivel nacional y europeo.

Palabras clave: Eficiencia energética, planta industrial, gestión industrial, gestión ambiental, sostenible.

Abstract

In the current paper it has been studied the design of large industrial plants, with emphasis on parameters such as the improvement of reliability, maintenance, and efficient operation, as well as energy efficiency and environmental concerns. Key decisions like the reliability of facilities, and installations, cutting down time intervals, energy efficiency and environmental impact analysis impact the design of a new industrial plant. The prominent steps are listed by the Directorate of Engineering and Maintenance, supported by the President and the General Direction of the industry. The factory has set a benchmark for the industry and currently is one of the first companies in its sector in the national and European level.

Key words: Energy efficiency, industrial plant, industrial management, environmental management, sustainable.

Introducción

El sector industrial enfrenta constantes transformaciones hacia acciones de mejor calidad, economía en la producción y aceptación de los usuarios con desafíos que tienen una mayor incidencia en los procesos en comparación con otros tipos de industrias manufactureras. Cuando se propone un proceso de construcción de nuevas plantas industriales con el fin de aumentar el nivel de producción o servicio, las decisiones tomadas marcan la trayectoria de la empresa a medio y largo plazo. En este artículo se presentan las instalaciones, experiencias y decisiones tomadas, propuestas por la propia dirección de ingeniería y mantenimiento de la empresa, y apoyadas por el presidente junto con la dirección general de la empresa. En la implementación de un complejo industrial, con un objetivo orientado a la correcta operación y mantenimiento (Cárcel et al., 2021a; Cárcel et al., 2021b), con un compromiso fundamental con el mantenimiento adecuado, la eficiencia operativa y energética y el respeto al medio ambiente. En este estudio de caso, se muestran algunas de las principales decisiones para realizar una planta industrial modelo, lo que demuestra un avance con respecto a las soluciones típicas para este dominio. Los autores de este artículo argumentan su experiencia, dado que han participado directamente en el diseño de esta planta, el diseño fue analizado para la confiabilidad y mejora del mantenimiento operativo.

Por ello, en el sector de la construcción industrial, la planificación de nuevas industrias depende principalmente del factor económico (a corto plazo), evitando factores que promuevan la mejor explotación y mantenimiento de la industria, un mayor grado de fiabilidad, así como proponiendo un mayor número de acciones para mejorar el respeto al medio ambiente a largo plazo.

Principios de Sostenibilidad

El diseño de una planta industrial debe basarse en la mejor operación para un proceso confiable y económico (González, 2005; Tavares, 2004; Sols, 2000) mantenimiento adecuado para alcanzar sus objetivos y respeto al medio ambiente (Corral et al., 2007; Cárcel et al., 2021c; Cárcel et al., 2021d).

Es por lo anterior que la tendencia industrial actual se ha esforzado por hacer que las instalaciones de producción sean cada vez más eficientes (Amorós, 2003) con la máxima disponibilidad posible (Ogaji, 2002) los departamentos se distribuyen de tal manera que influyen positivamente en la forma en que opera la planta (Sule, 2001)

A partir de la experiencia operativa (en una planta industrial previamente construida en otra localidad y actualmente en funcionamiento), y teniendo en cuenta las consideraciones generales para el adecuado proyecto del proceso productivo, y una filosofía de control de calidad total, se señalaron como principios fundamentales del diseño e implementación de sus instalaciones los siguientes:

1. Diseño basado en la fiabilidad
2. Diseño basado en la mantenibilidad
3. Diseño basado en la eficiencia energética y las energías alternativas
4. Diseño basado en el respeto al medio ambiente
5. Diseño basado en la gestión de la información y el conocimiento

En la siguiente sección se describen los diferentes principios comenzando con el diseño confiable.

Introduction

The industrial sector faces constant transformations towards better quality actions, economy in production and user acceptance with challenges that have a greater incidence on processes compared to other types of manufacturing industries. When a process of building new industrial plants is proposed in order to increase the level of production or service, the decisions made marks the trajectory of the company in the medium and long term. In this article, the facilities, experiences, and decisions taken are presented, and proposed by the company's own engineering and maintenance management and supported by the president along with the general management of the company. In the implementation of an industrial complex, with a goal oriented towards the proper operation and maintenance (Cárcel et al., 2021a; Cárcel et al., 2021b), with a fundamental commitment to appropriate maintenance, operational and energy efficiency and respect for the environment. In this case study, some of the main decisions to realize a model industrial plant are shown, which demonstrates an advance with respect to the typical solutions for this domain. The authors of this article argue their experience, given that they have participated directly in the design of this plant, the design was analyzed for the reliability and improvement of operational maintenance.

Therefore, in the industrial construction sector, planning new industries mainly depend on the economic factor (in the short term), avoiding factors that promote the best exploitation and maintenance of the industry, a higher degree reliability, as well as proposing a greater number of actions to improve respect for the environment for a longer term.

Principles of Sustainability

The design of an industrial plant should be based on the best operation for a reliable and economic process (González, 2005; Tavares, 2004; Sols,2000) adequate maintenance to achieve its goals and respect for the environment (Corral et al., 2007; Cárcel et al., 2021c; Cárcel et al., 2021d).

It is because of the above that the current industrial trend has strived to make production facilities increasingly efficient (Amorós, 2003) with the maximum possible availability (Ogaji, 2002) departments are distributed in such a way as to positively influence the way in which the plant operates (Sule, 2001)

Based on the operational experience (in an industrial plant previously built in another town and currently in operation), and taking into account the general considerations for the adequate project of the production process, and a philosophy of total quality control, they were pointed out as fundamental principles of the design and implementation of their facilities the following:

- Design based on reliability
- Design based on maintainability
- Design based on energy efficiency and alternatives energies
- Design based on respect for the environment
- Design based on information and knowledge management

In the following section it is described the different principles starting with the reliable design.

Diseño fiable

La confiabilidad es la idea fundamental para maximizar la eficiencia de los equipos e instalaciones de producción y minimizar el número y tipo de fallas que pueden causar la parada de la producción (Sols, 2000). Decisiones importantes son en cuanto a la:

A) Aumento de la fiabilidad eléctrica

Con una potencia instalada de más de 25.000 kW, la distribución interna está formada por 16 transformadores secos de 1250 kVA cada uno, centralizados en tres centros de transformación independientes, con un diseño basado en los centros de gravedad de las cargas. Algunas de las características generales tomadas sistemas redundantes en instalaciones eléctricas de media tensión (20 kV), tanto a nivel de líneas como de transformadores de potencia, así como redundancia en las principales redes de BT (400/230V). Junto con otros como cuadros de potencia eléctrica tipo OKKEN o fuente de alimentación ininterrumpida y sistema de monitorización de la distribución eléctrica.

B) Mayor fiabilidad térmica, frío industrial y distribución de agua. Los sistemas utilizados aquí son los sistemas térmicos con una potencia térmica instalada para el servicio de agua al cliente y la producción de vapor de 15.200 kW, compuestos por 4 calderas con una regulación de las necesidades térmicas (Fig. 1). Otros sistemas utilizados son los sistemas redundantes de distribución de agua donde se ha implementado la redundancia en los sistemas de bombeo, sistemas anillados en la distribución, con múltiples válvulas de derivación (posibilidad de otras rutas de suministro, maniobras y mantenimiento). Con esto vale la pena mencionar los sistemas de frío industrial que son sistemas de refrigeración industrial combinados que utilizan compresores de amoníaco y CO₂, con un ciclo de eficiencia energética con recuperación de calor.



Figura 1: Detalle de la sala técnica térmica de la caldera, diseñada para las correctas funciones de mantenimiento. Fuente: elaboración propia.

Figure 1: Detail of the thermal technical room of the boiler, designed for the correct maintenance functions. Source: own elaboration.

Diseño basado en el mantenimiento

La mantenibilidad fue uno de los criterios fundamentales en el diseño de la planta industrial con los objetivos de alcanzar los requisitos necesarios para un mantenimiento eficiente, ágil y económico para la máxima disponibilidad operativa. Para ello, se han abordado diversas opciones como la estandarización y uniformidad del mayor número de equipos y componentes utilizados en las instalaciones industriales.

Junto con la aplicación de tácticas de mantenimiento, con técnicas MPT (Mantenimiento Productivo Total) a nivel de producción. El diseño de las salas técnicas, patines y posibles zonas de mantenimiento, con los criterios de espacio suficiente, y acceso practicable en cualquier momento, lo que permite posibles sustituciones y maniobras de mantenimiento comunes. Este aspecto, normalmente olvidado en los diseños, es vital para la operación futura, la rentabilidad en la operación y la eficiencia en las actividades en caso de fallas o mantenimiento de rutina.

Reliable Design

Reliability is the fundamental idea to maximize the efficiency of production equipment and facilities and minimize the number and type of failures that can cause production stop (Sols,2000). Within the internal distribution of the factory, some of the important decisions to increase said reliability in all the facilities and services were the following:

A) Increase in electrical reliability

With an installed power of more than 25,000 kW, the internal distribution is made up of 16 dry transformers of 1250 kVA each, centralized in three independent transformation centers, with a design based on the centers of gravity of the loads. Some of the general characteristics taken are systems such as redundant systems in medium voltage electrical installations (20 kV), both at the level of lines and power transformers, as well as redundancy in the main LV networks (400 / 230V). Along with others as OKKEN type electrical power panels or uninterruptible power supply and system for monitoring electrical distribution. Fig 2.



Figura 2: Detalle del sistema de tuberías electrificadas y transformadores secos. Fuente: elaboración propia.

Figure 2: Detail of electrified pipeline system and dry transformers. Source: own elaboration.

- B) Increased thermal reliability, industrial cold and water distribution. The systems used here are the thermal systems with an installed thermal power for customer water service and steam production of 15,200 kW, made up of 4 boilers with a regulation of thermal needs (Fig. 1). Other systems used are the redundant water distribution systems where the redundancy in the pumping systems, ringed systems have been implemented in the distribution, with multiple bypass valves (possibility of other supply routes, maneuvers and maintenance). With this it is worth mentioning the Industrial cold systems which are combined industrial refrigeration system using ammonia and CO₂ compressors, with an energy efficient cycle with heat recovery.

Maintenance-based Design

Maintainability was one of the fundamental criteria in the design of the industrial plant in order to achieve the necessary requirements for efficient, agile, and economical maintenance for maximum operational availability. In order to achieve this, various options have been tackled such as the standardization and uniformity of the largest number of equipment and components used in industrial facilities.

Along with the application of maintenance tactics, with TMP (Total Productive Maintenance) techniques at production levels. The design of the technical rooms, skids and possible areas of maintenance, with the criteria of sufficient space, and practicable access at any time, which allows possible substitutions and common maintenance maneuvers. This aspect, normally forgotten in designs, is vital for future operation, profitability in operation and efficiency in activities in case of failures or routine maintenance.

Diseño basado en eficiencia energética y energías alternativas

En este apartado se han utilizado diversos criterios, sin embargo los más importantes son el control centralizado e informatizado de la instalación eléctrica y el control instantáneo del consumo general y local, con la implantación de sistemas de medición en todas las líneas generales en los paneles diseñados (Fig. 3). Junto con la implementación en el diseño y ejecución de variadores de velocidad con control electrónico en sistemas de bombeo y distribución de fluidos (Fig. 4), con el fin de optimizar la eficiencia energética, la regulación fina de presiones y flujos, un menor desgaste en los equipos y, en consecuencia, la reducción de los costos de mantenimiento y el aumento de la vida operativa.



Figura 3: Detalle de los sistemas de control y monitorización en tablas generales. Fuente: elaboración propia.
Figure 3: Detail of the control and monitoring systems in general tables. Source: own elaboration.

Otro criterio que cabe destacar es la apuesta por el uso de energías alternativas, se procedió al diseño de una instalación fotovoltaica integrada en la zona industrial con potencia dentro de la fábrica de 1.200 kW (400 kW en suelo y 800 kW en cubiertas). Esto confiere un aporte fundamental de la energía solar, además de lograr otros aspectos como la uniformidad en la autonomía de la energía eléctrica suministrada (Estabiliza las caídas de tensión y la calidad de la energía eléctrica procedente de las subestaciones).

Diseño basado en el medio ambiente

Respetar el medio ambiente es uno de los criterios obligatorios por la normativa sectorial donde adoptar las mayores medidas puede mejorar el sistema actual. Las medidas adoptadas pueden ejecutarse por fases donde la primera fase es obtener una Autorización Ambiental Integrada para el complejo industrial, construyendo una planta de tratamiento de última generación, con una capacidad de tratamiento de 2000m³/día y una carga de 66.700 habitantes equivalentes (e.e.).

En cuanto al uso de las aguas residuales, existen criterios claros ya que una vez tratadas en óptimas condiciones, se abastece mediante estaciones de bombeo a un lago artificial que se encuentra en la zona de la entrada al polígono a partir de esa agua, además de realizar una función ornamental, se utiliza para regar toda la jardinería del complejo industrial (figura 6).

Otros criterios son la instalación industrial, libre de baterías para sistemas de alimentación ininterrumpida, que son del tipo dinámico con volantes de inercia, donde todos los transformadores se han considerado secos, para evitar el tratamiento y la toxicidad de los aceites.

Uso del agua de lluvia desde el interior de la fábrica, con autorización de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Por lo tanto, se construyó una red de recolección de agua de lluvia, lo que permitió un pozo de bombeo y tres tanques de 1000m³ cada uno para almacenar agua de lluvia (Fig. 7). Estos tanques cuentan con un sistema de control y ajuste de hipoclorito para mantener el agua en óptimas condiciones.

Design-based on Energy efficiency and Alternative Energies

Various criterias have been used in this section, however the most important are the Centralized and computerized control of the electrical installation and instantaneous control of general and local consumption, with the implementation of measurement systems in all the general lines in the designed panels (Fig. 3). Along with the implementation in the design and execution of variable speed drives with electronic control in pumping and fluid distribution systems (Fig. 4), in order to optimize energy efficiency, fine regulation of pressures and flows, less wear and tear on equipment and consequently reduction of the maintenance costs and increase of the operational life.



Figura 4: Detalle de salas de fluidos, con sistemas de regulación mediante accionamientos electrónicos. Fuente: elaboración propia.
Figure 4: Detail of fluid rooms, with regulation systems using electronic drives. Source: own elaboration.

Other criteria which is worth mentioning is the commitment to the use of alternative energies, we proceeded to the design of a photovoltaic installation integrated in the industrial zone with power within the factory of 1,200 kW (400 kW on the ground and 800 kW on roofs) (Fig. 5). This confers a fundamental contribution of solar energy, in addition to achieving other aspects such as uniformity in the autonomy of the electrical energy supplied (Stabilizes the voltage drops and the quality of the electrical energy coming from the substations).



Figura 5: Detalle de los sistemas fotovoltaicos instalados en el suelo y en el techo. Fuente: elaboración propia.
Figure 5: Detail of photovoltaic systems installed on the ground and on the roof. Source: own elaboration.



Figura 6: Detalle del lago artificial: destinado a mejorar el uso de la purificación, ornamental y de riego. Fuente: elaboración propia.
Figure 6: Detail of the artificial lake: intended to improve the use of purification, ornamental and irrigation. Source: own elaboration.

Diseño basado en la gestión de la información y el conocimiento

La información y los datos son vitales para la funcionalidad óptima de los servicios de mantenimiento. En instalaciones complejas, se requiere la recopilación de datos, con el fin de adaptar los programas de mantenimiento, control y operación de las instalaciones y el monitoreo de paradas o fallas.

Como resultado, una fase fundamental es la adecuada captura de información, para su posterior procesamiento y tratamiento, generador de conocimiento propio en la organización y una herramienta de mantenimiento fundamental, integrando la información útil y estratégica del servicio, mejorando la cadena del servicio a prestar.

Se ha desarrollado e implementado un modelo de gestión del conocimiento para la actividad de mantenimiento, con la captura de conocimiento estratégico de los técnicos y operadores (Cárcel et al., 2013), así como la captura y gestión de información técnica de las instalaciones y equipos, para el control, visualización, obtención de datos operativos y registro de fallos. Todo ello permite tener controlados todos los parámetros fundamentales de las instalaciones y equipos, que optimizan el control de la fiabilidad de las instalaciones, la previsión de programas de mantenimiento, así como un control y optimización de la eficiencia energética, demostrando que la aplicación de modelos de gestión del conocimiento dentro del departamento de mantenimiento de la empresa, permite optimizar los procesos y mejorar la disponibilidad del servicio y mejores resultados económicos para la empresa.

Conclusiones

Partiendo de principios fundamentales que buscan la máxima eficiencia, con un diseño basado en la fiabilidad, la mantenibilidad, la eficiencia energética y las energías alternativas, el respeto al medio ambiente y el diseño basado en la información y la gestión del conocimiento, se ha conseguido una industria que, cumpliendo con todas las expectativas de producción. La sinergia con los organismos implicados en la ejecución de la planta industrial han sido determinantes para conseguir, a un nivel adecuado de inversión y costes, conseguir una planta con mejora de capacidad y rentabilidad económica, control de información y conocimiento, para futuras operaciones y funciones de mantenimiento que deben cumplirse.

Design based on the environment

To respect the environment is one of the mandatory criteria by sectorial regulations where adopting the greatest measures can improve the current system. Measures taken can be executed by phases where the first phase is to obtain an Integrated Environmental Authorization for the industrial complex, building a state-of-the-art treatment plant, with a treatment capacity of 2000m³/day and a load of 66,700 equivalent inhabitants (h.e.).

Regarding the wastewater usage, there are clear criteria as once it has been treated in optimal conditions, it is supplied by means of pumping stations to an artificial lake that is in the area of the entrance to the polygon (Fig.6), from that water, in addition to making an ornamental function, it is used to irrigate all the gardening of the industrial complex.

Other criteria are the industrial installation, free of batteries for uninterrupted power supply systems, which are of the dynamic type with flywheels, where all transformers have been considered dry, to avoid the treatment and toxicity of the oils.

Rainwater usage from inside the factory, with authorization from the Júcar Hydrographic Confederation. Hence, a rainwater collection network was built, enabling a pumping well and three tanks of 1000m³ each to store rainwater (Fig. 7). These tanks have a hypochlorite control and adjustment system to keep the water in optimal conditions. The fundamental uses of this water are:



Figura 7: Detalle de los tanques de almacenamiento de agua de lluvia. Fuente: elaboración propia.

Figure 7: Detail of rainwater storage tanks. Source: own elaboration.

Design based on information and Knowledge Management

Information and data is vital for the optimal functionality of maintenance services. In complex facilities, data collection is required, in order to adapt the maintenance, control and operation programs of facilities and monitoring of stops or failures.

As a result, a fundamental phase is the adequate capture of information, for subsequent processing and treatment, generator of own knowledge in the organization and a fundamental maintenance tool, integrating the useful and strategic information of the service, improving the chain of the service to be provided.

A knowledge management model has been developed and implemented for the maintenance activity, with the capture of strategic knowledge of the technicians and operators (Cárcel et. al., 2013), as well as the capture and management of technical information of the facilities and equipment, for the control, visualization, obtaining operational data and fault log. All this allows to have controlled all the fundamental parameters of the facilities and equipment, which optimize the control of the reliability of the facilities, the forecast of maintenance programs, as well as a control

and optimization of energy efficiency, demonstrating that the application of Knowledge management models within the maintenance department of the company, allows to optimize the processes and improve the availability of the service and better economic results for the company.

Conclusions

Starting from fundamental principles that seek maximum efficiency, with a design based on reliability, maintainability, energy efficiency and alternative energies, respect for the environment and information-based design and knowledge management, an industry has been achieved. The synergy with the bodies involved in the execution of the industrial plant, have been decisive to achieve, at an appropriate level of investment and costs, to achieve a plant with capacity improvement and economic profitability, control of information and knowledge, for future operations and maintenance functions that must be fulfilled.

Acknowledgment: This work has been conducted within the framework of the CONDAP project "Digital skills for workplace mentors in construction sector apprenticeships" funded by the European Commission within the Key Action 2: Cooperation for innovation and the exchange of good practices, reference number 2018-1-UK01-KA202-048122

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- AEM, Asociación española de mantenimiento. (2010). “Encuesta sobre la evolución y situación del mantenimiento en España”. AEM.
- Amorós, E.(2003). “Diseño del lugar de trabajo”. Lima: USAT.
- Cárcel-Carrasco, J., Pascual-Guillamón, M., & Langa-Sanchis, J. (2021c). Analysis of the effect of COVID-19 on air pollution: perspective of the Spanish case. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14.
- Cárcel-Carrasco, J., Pascual-Guillamón, M., & Salas-Vicente, F. (2021d). Analysis on the Effect of the Mobility of Combustion Vehicles in the Environment of Cities and the Improvement in Air Pollution in Europe: A Vision for the Awareness of Citizens and Policy Makers. *Land*, 10(2), 184.
- Cárcel-Carrasco, J.; Cárcel-Carrasco, J.-A. (2021b). Analysis for the Knowledge Management Application in Maintenance Engineering: Perception from Maintenance Technicians. *Appl. Sci.* 2021, 11, 703. <https://doi.org/10.3390/app11020703>.
- Cárcel-Carrasco, J.; Gómez-Gómez, C. (2021a). Qualitative Analysis of the Perception of Company Managers in Knowledge Management in the Maintenance Activity in the Era of Industry 4.0. *Processes* 2021, 9, 121. <https://doi.org/10.3390/pr9010121>.
- Cárcel, F.J; Roldán, C. (2013). “Principios básicos de la Gestión del Conocimiento y su aplicación a la empresa industrial en sus actividades tácticas de mantenimiento y explotación operativa: Un estudio cualitativo”. *Intangible capital*. 9 (1):91-125. <http://dx.doi.org/10.3926/ic.341>.
- Corral A., Isusi, I., Peinado E. y Pérez, T.(2007). “La responsabilidad Social y medio ambiental en la empresa Latinoamericana”. México: Banco Internacional de Desarrollo.
- González, F.J.(2005). “Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado”. Fundación confemetal. Madrid.
- Ogaji, S.; Sampath, S.; Singh, R. (2002).“Novel approach for improving power-plant availability using advanced engine diagnostics”. *Applied Energy* 72.pp. 389–407. [http://dx.doi.org/10.1016/S0306-2619\(02\)00018-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0306-2619(02)00018-1)
- Sols, A.(2000). “Fiabilidad, Mantenibilidad, Efectividad, un enfoque sistémico”. Comillas.Madrid
- Sule, D.(2001). “Instalaciones de manufactura: Ubicación, planeación y diseño”. México: Thomson Learning.
- Tavares L.(2004). “Administración moderna de Mantenimiento”. Editorial Interamericana S.A.

ANÁLISIS DEL URBANISMO SOSTENIBLE E INTRODUCCIÓN A LA RELACIÓN ENTRE LA MOVILIDAD DE LOS VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE.

ANALYSIS OF SUSTAINABLE URBANISM AND INTRODUCTION TO THE RELATIONSHIP BETWEEN THE MOBILITY OF COMBUSTION VEHICLES AND AIR POLLUTION.

Javier Cárcel-Carrasco

Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es

PhD. from the polytechnic university of Valencia. Full professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. E-mail: fracarc1@csa.upv.es

Aurora Martínez-Corral

Ph. D. por la Universitat Politècnica de Valencia. Profesora en el departamento de Construcciones Arquitectónicas de la UPV. E-mail: aumarcor@csa.upv.es

PhD. from the polytechnic university of Valencia. Professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. E-mail: aumarcor@csa.upv.es

Carolina Aparicio-Fernández

Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: caap@csa.upv.es

Luis Palmero-Iglesias

Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: lpalmero@csa.upv.es

Resumen

La búsqueda de diseños y remodelación es de las cosas a tener en cuenta en los entornos urbanos para lograr ciudades verdes, saludables y sostenibles. El efecto de la contaminación del aire en las ciudades debido a los gases de combustión de los vehículos es una parte importante del problema. Debido al efecto indirecto causado por la pandemia de Covid-19, los poderes políticos en Europa han impuesto medidas de confinamiento para los ciudadanos imponiendo restricciones de movimiento en las grandes ciudades. Esta medida indirecta nos ha dado un terreno de experimentación para mostrar cómo la reducción de la circulación de vehículos tiene un efecto a corto plazo en los niveles de contaminación del aire en las ciudades. Por ello, este artículo analiza el efecto en Madrid. Esta ciudad ha sido elegida debido a su gran cantidad de tráfico rodado diario con altos niveles de contaminación; por lo tanto, la caída de la contaminación del aire se puede ver claramente en el período analizado. Los resultados mostrados a través de este estudio indican que la reducción de los vehículos de combustión afecta en gran medida a los niveles de contaminación en las diferentes ciudades. Durante el periodo de confinamiento, se ha experimentado una notable mejora de la calidad del aire donde los valores contaminantes bajaron hasta el 80% respecto al año anterior. Esto debería servir para concienciar a los ciudadanos y a los poderes políticos para adoptar medidas que induzcan el diseño de ciudades sostenibles.

Palabras clave: Dioxido de Nitrogeno; PM₁₀; Tráfico en la carretera; La contaminación del aire; COVID-19; Calidad del aire; Ciudades.

Abstract

The search for design and remodeling is one of the things to take into account in urban environments to achieve green, healthy and sustainable cities. The effect of air pollution on cities due to vehicle flue gases is an important part of the problem. Due to the indirect effect caused by the Covid-19 pandemic, political powers in Europe have imposed lockdown measures for citizens by imposing movement restrictions in large cities. This indirect measure has given us a ground for experimentation to show how reduced vehicle traffic has a short-term effect on air pollution levels in cities. Therefore, this article analyzes the effect in Madrid. This city has been chosen due to its large amount of daily road traffic with high levels of pollution; therefore, the drop in air pollution can be clearly seen in the period analyzed. The results shown through this study indicate that the reduction of combustion vehicles greatly affects pollution levels in different cities. During the period of confinement, there has been a notable improvement in air quality where pollutant values fell to 80% compared to the previous year. This should serve to raise awareness among citizens and political powers to adopt measures that induce the design of sustainable cities.

Keywords: Nitrogen dioxide; PM₁₀; Traffic on the road; Air pollution; COVID-19; Air quality; Towns.

Introducción

En el caso europeo, la propagación de COVID-19 aumentó rápidamente en un corto período de tiempo (Jit et.al., 2020), y para mantener la seguridad entre los ciudadanos, la Organización Mundial de la Salud (OMS) propuso varias medidas (Sohrabi et.al., 2020). Una de las medidas más restrictivas implementadas con el surgimiento del COVID-19 fue la restricción de movilidad, que está directamente ligada a la actividad del individuo ya que hubo confinamiento domiciliario (Amer et. Al., 2020), lo que resultó en una fuerte caída de la tráfico diario. Como consecuencia, la calidad del aire mejoró gradualmente (Pérez et. Al., 2010). PM₁₀ y NO₂, son dos contaminantes tóxicos que presentan graves daños a la salud cuando se inhalan (Khaniabadi, 2017). PM₁₀ se refiere a las partículas físicas o líquidas de polvo, cenizas, materiales metálicos, cemento, etc. dispersas en la atmósfera, cuyo diámetro se encuentra entre 2.5 y 10 µm (Marcazzan et. Al., 2001). La razón principal por la que los habitantes de las ciudades visitan más áreas verdes es por el bajo contaminación del aire. (Rigolon et. Al., 2016) o lugares públicos diseñados por el sistema de infraestructura pública (Kronenberg et. Al., 2020), y fueron visitados con frecuencia una vez que se levantaron las restricciones en diferentes etapas (Xie et. Al., 2020).

Por otro lado, NO₂ se refiere al dióxido de nitrógeno, que es una composición que se forma durante los procesos de combustión en vehículos motorizados o plantas industriales (Setiabudi et. Al., 2004), que puede inducir enfermedades respiratorias graves cuando se expone a altas concentraciones durante mucho tiempo (Khaniabadi, 2017). Debido a sus efectos negativos para la salud, se establecieron algunas normativas en las diferentes regiones y países del mundo (Prtr España, 2020). España fue el segundo país en anunciar el estado de alarma el 14 de marzo, que en seguida puse la restricción de la movilidad no esencial (Petetin, 2020). Durante el estado de alarma se cancelaron vuelos internacionales en varios países con el fin de reducir la propagación del virus (Suzumura, 2020).

La mayoría de los países europeos enfrentaron el impacto de COVID-19 a principios de marzo, aunque algunos países diferían entre sí, principalmente debido a que el número de casos de COVID-19 aumentó en diferentes períodos de tiempo que se muestran en la Tabla 1. Estos períodos de tiempo se representan como diferentes etapas, en las que cada etapa indica una alteración de las medidas aplicadas en cada país para controlar la propagación de las infecciones. Dependiendo de factores como población total, número de casos y medidas específicas, estas etapas se prolongaron o acortaron.

Tabla 1. Estado de alarma y diferentes etapas durante el bloqueo. Fuente: elaboración propia.

Ciudades	Estado de alarma	Fin restricciones	fase	fase	fase	fase
Milan (Italia)	8 marzo	04 mayo	3 junio	15 junio	--	--
Praga (Rep.Ch)	11 marzo	7 April	20 April	25 mayo	--	--
Madrid (España)	14 marzo	11 mayo	25 mayo	10 junio	21 junio	21 junio
París (Francia)	17 marzo	11 mayo	2 junio	22 junio	11 julio	24 julio
Londres (U.K)	23 marzo	18 mayo	2 junio	15 junio	4 julio	10 agosto

A través de los datos estudiados, se puede señalar que al implementar restricciones de movilidad, se puede mejorar la calidad del aire en las ciudades, se puede utilizar para crear conciencia sobre las consecuencias de la contaminación en nuestra vida diaria y las medidas necesarias para mejorarla. Por tanto, este artículo aborda la contaminación en la ciudad española de Madrid. Lo que se ve claramente es la situación pre-COVID-19 en cuanto a contaminación y luego de la preocupación pública por esta enfermedad junto con las restricciones de movilidad en diferentes países (Venter, 2020).

Introduction

In the European case, the spread of COVID-19 increased rapidly in a short period of time (Jit et.al., 2020), and to maintain safety among citizens, the World Health Organization (WHO) proposed several measures (Sohrabi et.al., 2020). One of the most restrictive measures implemented with the emergence of COVID-19 was the restriction of mobility, which is directly linked to the activity of the individual since there was home confinement (Amer et. Al., 2020), which resulted in a sharp drop in daily traffic. As a consequence, air quality gradually improved (Pérez et. Al., 2010). PM₁₀ and NO₂ are two toxic pollutants that present serious health damage when inhaled (Khaniabadi, 2017). PM₁₀ refers to the physical or liquid particles of dust, ash, metallic materials, cement, etc. scattered in the atmosphere, the diameter of which is between 2.5 and 10 µm (Marcazzan et. Al., 2001). The main reason why city dwellers visit more green areas is because of the low air pollution. (Rigolon et. Al., 2016) or public places designed by the public infrastructure system (Kronenberg et. Al., 2020), and were frequently visited once restrictions were lifted at different stages (Xie et. Al., 2020).

On the other hand, NO₂ refers to nitrogen dioxide, which is a composition that is formed during combustion processes in motor vehicles or industrial plants (Setiabudi et. Al., 2004), which can induce severe respiratory diseases when exposed to high concentrations for a long time (Khaniabadi, 2017). Due to its negative effects on health, some regulations were established in the different regions and countries of the world (Prtr Spain, 2020). Spain was the second country to announce the state of alarm on March 14, which immediately put the restriction on non-essential mobility (Petetin, 2020). During the state of alarm, international flights were cancelled in several countries in order to reduce the spread of the virus (Suzumura, 2020).

Most European countries faced the impact of COVID-19 in early March, although some countries differed from each other, mainly because the number of COVID-19 cases increased in different time periods shown in Table 1. These time periods are represented as different stages, in which each stage indicates an alteration of the measures applied in each country to control the spread of infections. Depending on factors such as total population, number of cases and specific measures, these stages were prolonged or shortened.

Table 1. State of alarm and different stages during the lockdown. Source: Own elaboration

Cities	State of alarm	Lockdown lifting	Stage	Stage	Stage	Stage
Milan (Italy)	8 March	04 May	3 June	15 June	--	--
Prague (Cz.Republic)	11 March	7 April	20 April	25 May	--	--
Madrid (Spain)	14 March	11 May	25 May	10 June	21 June	21 June
Paris (France)	17 March	11May	2 June	22 June	11 July	24 July
London (U.K)	23 March	18 May	2 June	15 June	4 July	10 August

Through the data studied, it can be pointed out that by implementing mobility restrictions, air quality in cities can be improved, it can be used to raise awareness about the consequences of pollution on our daily lives and the measures necessary to improve it. Therefore, this article addresses pollution in the Spanish city of Madrid. What is clearly seen is the pre-COVID-19 situation in terms of pollution and then public concern about this disease along with mobility restrictions in different countries (Venter, 2020).

Material y métodos

En el presente apartado se muestra el resumen de los datos recogidos con el fin de comprender y analizar el impacto de la aparición del COVID-19 en la calidad del aire y los niveles de contaminación de varias ciudades, siendo Madrid la ciudad de interés.

Para el estudio y análisis de los diferentes contaminantes del aire se utilizan herramientas especiales como las estaciones de medición de contaminantes atmosféricos, las cuales se encuentran ubicadas en varios puntos de diferentes ciudades y áreas. Estas estaciones miden los principales contaminantes presentes en entornos urbanos como azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO, NO₂, NO_x), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), las partículas en suspensión con fracciones menores a 10 micrones (PM₁₀) y menos de 2,5 micrones (PM_{2,5}) y compuestos orgánicos (COV, benceno, tolueno, xileno). Los óxidos de nitrógeno (NO₂) y PM₁₀ requieren especial atención (AQICN, 2020). En el caso de este estudio actual, el análisis de diferentes contaminantes atmosféricos se ha realizado a través de instrumentos como el monitoreo del aire GAIA, el cual se describe a continuación y disponible en línea en fuentes de datos como AQICN (AQICN, 2020) donde se encuentran los diferentes contaminantes como El NO₂ o PM₁₀ se pueden estudiar con los datos disponibles de diferentes años. Por lo tanto, en este documento se realizó una comparación entre 2020 y 2019.

En este trabajo también se han utilizado la Agencia Espacial Europea, también conocida como ESA, y los satélites de monitoreo de contaminación de la NASA (ESA / Copernicus, 2020; NASA, 2020). También se ha utilizado la herramienta GAIA A13 con sus lecturas de sensor, para detectar valores de PM. El estudio de materia de partículas (PM) nos brinda las lecturas y datos oficiales de AQI (plataforma de datos históricos de calidad del aire) para estudios posteriores. Otra herramienta utilizada en este documento es la tendencia de movilidad de Apple, que es un conjunto de datos que contiene las tendencias de movilidad de COVID 19 en países / regiones y ciudades de todo el mundo.

Área de estudio

En el presente trabajo se comienza con el estudio de la tendencia de la movilidad para comprender la alteración en los niveles de contaminación; por tanto, para este estudio se han analizado los datos de Madrid. Esta ciudad fue elegida por su elevado tráfico rodado diario, que afecta indirectamente a la calidad del aire. A través de los datos estudiados se ha elaborado la Figura 1 con los datos de movilidad en diversas ciudades europeas. El periodo de estudio de este dato es desde enero hasta finales de agosto de 2020, y su comparación con 2019. También se destaca el periodo en el que la reducción del tránsito se mantuvo en valores inferiores, como se puede apreciar en la Figura 1, elaborado con la movilidad de Apple. tendencia (Informes de tendencias de movilidad de Apple, 2020).

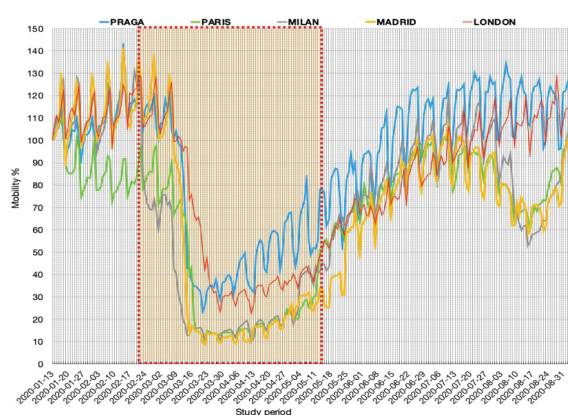


Figura 1. Evolución de la movilidad en las ciudades europeas desde enero de 2020 hasta septiembre de 2020.

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados de la tendencia de movilidad de Apple (Informes de tendencias de movilidad de Apple, 2020).

En la figura 1 se puede observar una reducción significativa de la movilidad. La caída comienza en el período en el que las autoridades y las organizaciones de salud implementaron medidas estrictas. El período de bloqueo en cada ciudad también es notable, ya que depende de los casos de COVID-19, la propagación y las muertes. Al observar la Figura 1, se puede deducir el patrón, ya que las ciudades comenzaron a suavizar las medidas de bloqueo después de dos meses en los que la movilidad cayó a valores mínimos.

Materials and methods

This section shows the summary of the data collected in order to understand and analyze the impact of the appearance of COVID-19 on air quality and pollution levels in several cities, with Madrid being the city of interest.

For the study and analysis of the different air pollutants, special tools such as atmospheric pollutant measurement stations are used, which are located at various points in different cities and areas. These stations measure the main pollutants present in urban environments such as sulfur (SO₂), nitrogen oxides (NO, NO₂, NO_x), carbon monoxide (CO), ozone (O₃), suspended particles with fractions less than 10 microns (PM₁₀) and less than 2.5 microns (PM_{2.5}) and organic compounds (VOCs, benzene, toluene, xylene). Nitrogen oxides (NO₂) and PM₁₀ require special attention (AQICN, 2020). In the case of this current study, the analysis of different air pollutants has been carried out through instruments such as GAIA air monitoring, which is described below and available online in data sources such as AQICN (AQICN, 2020) where different pollutants such as NO₂ or PM₁₀ can be studied with the available data from different years. Therefore, a comparison was made between 2020 and 2019 in this document.

This work has also used the European Space Agency, also known as ESA, and NASA's pollution monitoring satellites (ESA/Copernicus, 2020; NASA, 2020). The GAIA A13 tool with its sensor readings has also been used to detect PM values. The particulate matter (PM) study gives us the official AQI (historical air quality data platform) readings and data for further studies. Another tool used in this paper is Apple's Mobility Trend, which is a dataset containing COVID 19 mobility trends across countries/regions and cities around the world.

Study area

This work begins with the study of the mobility trend to understand the alteration in pollution levels; therefore, for this study the data from Madrid have been analyzed. This city was chosen for its high daily road traffic, which indirectly affects air quality. Through the data studied, Figure 1 has been elaborated with the mobility data in various European cities. The study period of this data is from January to the end of August 2020, and its comparison with 2019. It also highlights the period in which the reduction in traffic remained at lower values, as can be seen in Figure 1, elaborated with Apple mobility. trend (Apple Mobility Trend Reports, 2020).

A significant reduction in mobility can be seen in Figure 1. The drop begins in the period when authorities and health organizations implemented strict measures. The lockdown period in each city is also remarkable, as it depends on COVID-19 cases, spread, and deaths. Looking at Figure 1, the pattern can be deduced, as cities began to soften lockdown measures after two months in which mobility fell to minimum values.

Resultados

En este apartado se muestran los resultados obtenidos en la ciudad de Madrid, siendo esta ciudad entre otras, la ciudad española con mayores niveles de contaminación, debido a un gran número de movimientos de tráfico todos los días. Esto hace muy notorio el contraste de los valores de movilidad que se aprecian desde el período previo al bloqueo hasta el momento en que se declaró el estado de alarma. Por otro lado, el análisis de la contaminación atmosférica en Madrid muestra claramente las diferentes fases de desescalada que tuvo la ciudad, donde cada fase está conectada con un aumento paulatino de la contaminación atmosférica. Esta tendencia se muestra en la Fig. 3 que analiza la evolución de PM_{10} y NO_2 desde enero hasta agosto de 2020, período en el que la pandemia ascendió a su peor situación en España. Esta figura ha sido elaborada con datos extraídos del sitio web AQICN (AQICN, 2020).

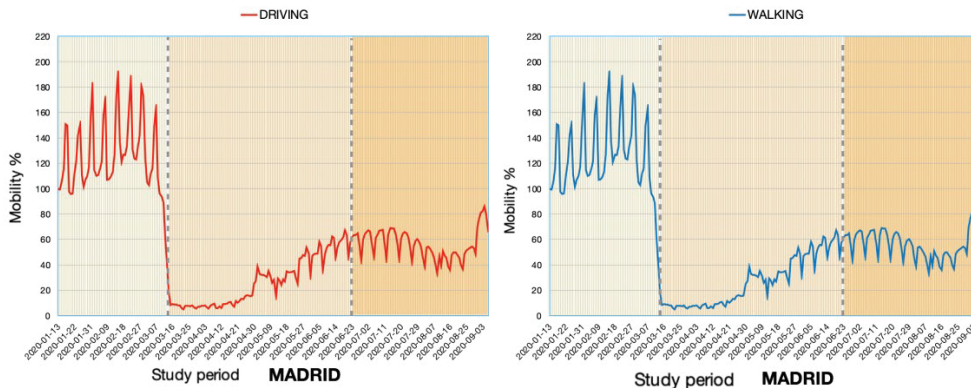


Figure 2. Evolución de la movilidad en Madrid de enero a septiembre de 2020. Fuente: Elaboración propia con datos recogidos de la tendencia de movilidad de Apple (Apple Mobility Trends Reports,

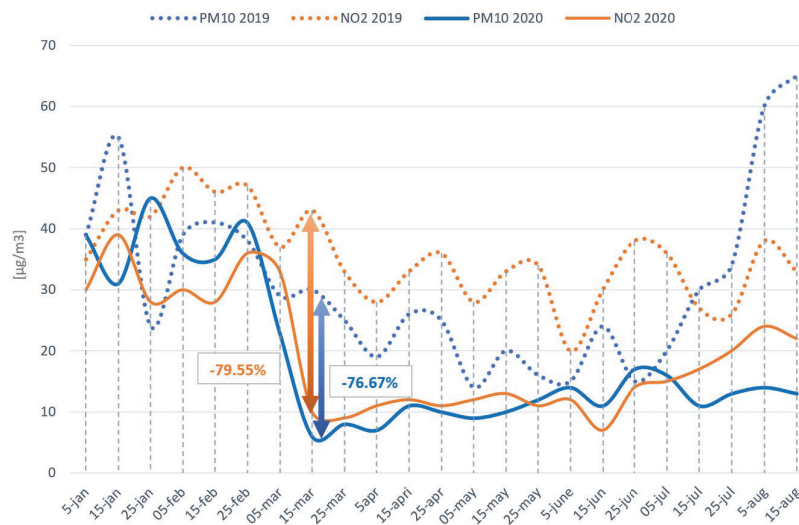


Figure 3. Gráfico de contaminantes atmosféricos en Madrid (estación de medición de F.Ladreda) de enero a agosto de 2019 y 2020. Fuente: Elaboración propia por datos recogidos de AQICN (AQICN, 2020).

La figura 3 muestra cómo en el período 2019-2020, la ciudad tuvo valores iniciales de alrededor de 30 y 40 de PM_{10} y NO_2 . En el caso de 2020, esta tendencia continúa hasta el estado de alarma (14 de marzo de 2020). Después de este período, se puede ver una caída drástica tras las restricciones de movilidad establecidas por el Gobierno español. Los valores continúan siendo bajos hasta la fase 0 (4 de mayo de 2020), donde se relajaron algunas restricciones, lo que resultó en un ligero aumento de contaminantes como se muestra en la Figura 3. Con cada fase, los valores aumentan gradualmente; sin embargo, estos valores permanecen por debajo de los valores antes de la pandemia o 2019. Como se observa en la Figura 3, los valores de contaminantes como PM_{10} cayeron en un 76,67% y NO_2 en un 79,55%.

Results

This section shows the results obtained in the city of Madrid, being this city among others, the Spanish city with the highest levels of pollution, due to a large number of traffic movements every day. This makes very noticeable the contrast of the mobility values that can be seen from the period before the blockade until the moment in which the state of alarm was declared. On the other hand, the analysis of air pollution in Madrid clearly shows the different phases of de-escalation that the city had, where each phase is connected with a gradual increase in air pollution. This trend is shown in Fig. 3 that analyzes the evolution of PM_{10} and NO_2 from January to August 2020, a period in which the pandemic rose to its worst situation in Spain. This figure has been elaborated with data extracted from the AQICN website (AQICN, 2020).

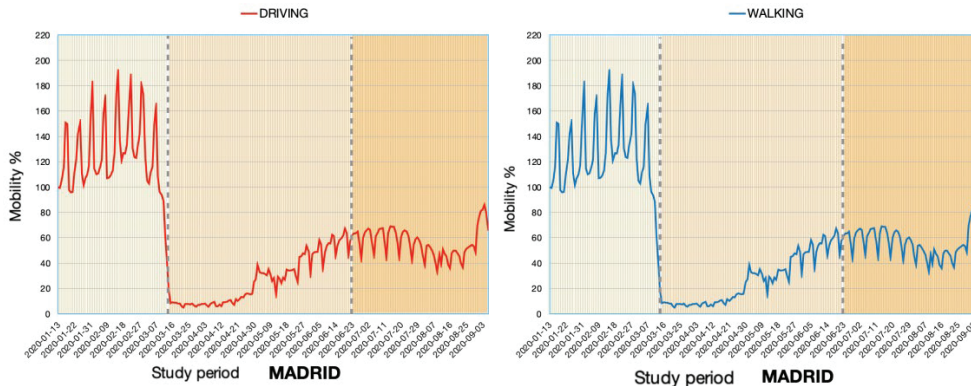


Figure 2. Evolution of mobility in Madrid from January to September 2020. Source: Own elaboration with data collected from the Apple mobility trend (Apple Mobility Trends Reports,

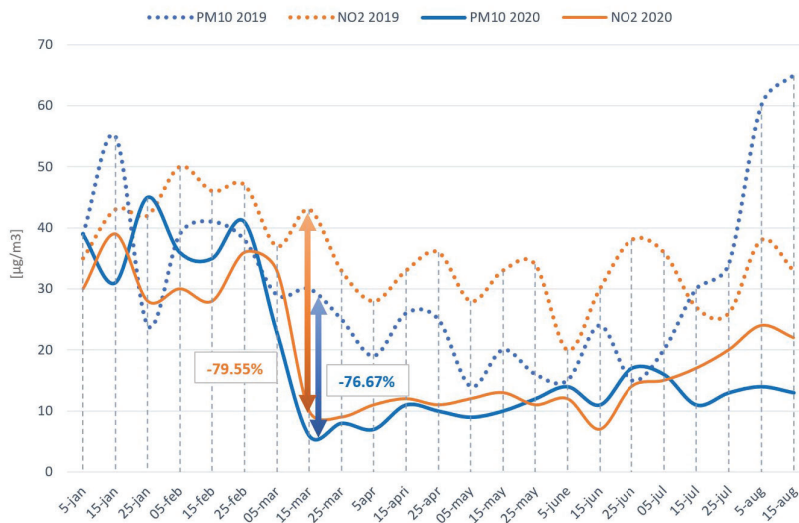


Figure 3. Graph of air pollutants in Madrid (F.Ladreda measuring station) from January to August 2019 and 2020. Source: Own elaboration by data collected from AQICN (AQICN, 2020).

Figure 3 shows how in the period 2019-2020, the city had initial values of around 30 and 40 PM_{10} and NO_2 . In the case of 2020, this trend continues until the state of alarm (March 14, 2020). After this period, a drastic drop can be seen following the mobility restrictions put in place by the Spanish government. Values remain low until phase 0 (May 4, 2020), where some restrictions were relaxed, resulting in a slight increase in contaminants as shown in Figure 3. With each phase, the values gradually increase; however, these values remain below the values before the pandemic or 2019. As shown in Figure 3, the values of pollutants such as PM_{10} fell by 76.67% and NO_2 by 79.55%.

Discusión

Este trabajo ha analizado los valores desde enero hasta agosto de 2020. El inicio de 2020 está marcado por valores en torno a $100 \mu\text{g} / \text{m}^3$, lo que indica los altos niveles de contaminantes en el aire en el período de medición. Una vez declarado el estado de alarma por parte de las autoridades y la Organización Mundial de la Salud (OMS), los valores disminuyeron drásticamente un 83,64%.

La facilidad de cierre se produjo después de varios meses desde que se declaró, lo que provocó un aumento de los contaminantes en el aire; sin embargo, los valores de los contaminantes una vez que se levantaron las restricciones de movilidad son notables. Los valores fueron mayores que en el período de encierro, pero estos valores nunca alcanzaron el estado “normal”, mejorando la calidad del aire de las ciudades luego de varios meses de declararse la restricción de movilidad y estado de alarma, como se puede ver en la Tabla 2, marcando los tres períodos principales de estudio: El comienzo del año, el período de encierro y después del encierro. Una vez levantadas las restricciones, los valores de la calidad del aire se mantuvieron en cifras positivas como Madrid ($12 \mu\text{g} / \text{m}^3$).

Table 2. Valores de PM_{10} en diferentes ciudades durante diferentes períodos de tiempo. Fuente: Elaboración propia.

Ciudades	Enero	Marzo	Agosto
Milan (Italia)	$110 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$18 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Praga (Rep.Ch)	$48 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$16 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Madrid (España)	$45 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$8 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$12 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Paris (Francia)	$44 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$13 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$38 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Londres (U.K)	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$9 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$15 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Estos resultados deberían motivar al sistema global a repensar las leyes, regulaciones y políticas de movilidad actuales, de modo que las emisiones puedan reducirse con el fin de lograr una mejor calidad del aire en las grandes áreas urbanas. Por lo tanto, este estudio muestra la importancia de la conciencia del efecto humano sobre la contaminación, y se ha estudiado en el presente artículo.

Conclusión

Un bloqueo estricto de un corto período de tiempo ha demostrado un efecto positivo importante en el medio ambiente y la calidad del aire de diferentes ciudades. La obstrucción de las actividades industriales, económicas y de transporte junto con las restricciones de movilidad nos han brindado una oportunidad única para estudiar el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente. Por tanto, este estudio demuestra cómo la aparición del COVID-19, con la falta de movilidad durante aproximadamente dos meses, resultó en la disminución de la concentración en el aire de partículas como dióxido de nitrógeno y PM_{10} a valores mínimos en la ciudad de Madrid, para comprender la reducción significativa en la concentración de contaminantes en el aire. Se aprecia una caída drástica en los niveles de NO_2 y PM_{10} de acuerdo con la fecha del decreto del Estado de Alarma, cuando las emisiones redujeron hasta el 50% en Madrid (de 30 a $15 \mu\text{g} / \text{m}^3$); Por tanto, la acción humana que, en este caso, fue motivada por la aparición del COVID-19, supuso importantes mejoras en la calidad del aire y ha mostrado su impacto en las grandes ciudades, haciendo de esta acción una clave para potenciar el actual problema de contaminación que tiene una característica que se puede resolver.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por la Unión Europea en el marco del proyecto Ciudades Verdes para la Resiliencia climática y del Agua, crecimiento económico sostenible, Ciudadanos y entornos saludables con referencia 730283 y el marco del proyecto Condereff (Ref. PGI05560-Condereff) Políticas de gestión de residuos de construcción y demolición para mejorar la eficiencia de los recursos.

Discussion

This work has analyzed the values from January to August 2020. The start of 2020 is marked by values around 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, indicating the high levels of pollutants in the air in the measurement period. Once the state of alarm was declared by the authorities and the World Health Organization (WHO), the values decreased drastically by 83.64%.

The ease of closure came after several months since it was declared, leading to an increase in pollutants in the air; however, the values of pollutants once mobility restrictions were lifted are remarkable. The values were higher than in the period of confinement, but these values never reached the "normal" state, improving the air quality of the cities after several months of declaring the restriction of mobility and state of alarm, as can be seen in Table 2, marking the three main periods of study: The beginning of the year, the period of confinement and after confinement. Once the restrictions were lifted, air quality values remained in positive figures such as Madrid (12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Table 2. PM₁₀ values in different cities over different time periods. Source: Own elaboration.

Cities	January	March	August
Milan (Italy)	110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Prague (Cz.Republic)	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Madrid (Spain)	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Paris (France)	44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
London(U.K)	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

These results should motivate the global system to rethink current mobility laws, regulations and policies, so that emissions can be reduced in order to achieve better air quality in large urban areas. . Therefore, this study shows the importance of awareness of the human effect on pollution, and has been studied in this article.

Conclusion

A strict lockdown of a short period of time has shown a significant positive effect on the environment and air quality of different cities. The obstruction of industrial, economic and transport activities together with mobility restrictions have given us a unique opportunity to study the impact of human activities on the environment. Therefore, this study demonstrates how the appearance of COVID-19, with the lack of mobility for approximately two months, resulted in the decrease in the concentration in the air of particles such as nitrogen dioxide and PM₁₀ to minimum values in the city of Madrid, to understand the significant reduction in the concentration of pollutants in the air. There is a drastic drop in the levels of NO₂ and PM₁₀ according to the date of the decree of the State of Alarm, when emissions reduced up to 50% in Madrid (from 30 to 15 $\mu\text{g} / \text{m}^3$); Therefore, the human action that, in this case, was motivated by the appearance of COVID-19, meant important improvements in air quality and has shown its impact on large cities, making this action a key to enhance the current pollution problem that has a characteristic that can be solved.

Acknowledgments

This work was supported by the European Union under the project Green Cities for Climate and Water Resilience, Sustainable Economic Growth, Healthy Citizens and Environments with reference 730283 and the framework of Condereff project (Ref. PGI05560-Condereff) Construction & demolition waste management policies for improved resource efficiency.

Referencias / References

- Amer, F., Hammoud, S., Farran, B., Boncz, I., & Endrei, D. (2020). Assessment of countries' preparedness and lockdown effectiveness in fighting Covid-19. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 15, 1–8.
- Apple (n.d.). Apple Mobility Trends Reports. Available online: <https://covid19.apple.com/mobility> (accessed on 12 September 2020).
- AQICN. Air Quality Data. Available Online: <https://aqicn.org/data-platform/register/> (accessed on 3 August 2020).
- ESA/Copernicus. Coronavirus Lockdown Leading to Drop in Pollution across Europe. Available online: <https://www.esa.int/esaoh/q=covid-19> (accessed on 10 September 2020).
- Jit, M., Jombart, T., Nightingale, E. S., Endo, A., Abbott, S., & Edmunds, W. J. (2020). Estimating number of cases and spread of CORONAVIRUS disease (COVID-19) using critical care admissions, United KINGDOM, February to MARCH 2020. *Eurosurveillance*, 25(18).
- Khaniabadi, Y. O., Goudarzi, G., Daryanoosh, S. M., Borgini, A., Tittarelli, A., & De Marco, A. (2017). Exposure to Pm10, No2, and O3 and impacts on human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(3), 2781–2789
- Kronenberg, J.; Haase, A.; Łaskiewicz, E.; Antal, A.; Baravikova, A.; Biernacka, M.; Dushkova, D.; Filčák, R.; Haase, D.; Ignatieva, M.; et al. Environmental justice in the context of urban green space availability, accessibility, and attractiveness in postsocialist cities. *Cities* 2020, 106, 102862.
- Marcazzan, G.M.; Vaccaro, S.; Valli, G.; Vecchi, R. Characterisation of PM10 and PM2.5 particulate matter in the ambient air of Milan (Italy). *Atmos. Environ.* 2001, 35, 4639–4650.
- Pérez, N., Pey, J., Cusack, M., Reche, C., Querol, X., Alastuey, A., & Viana, M. (2010). Variability of PARTICLE Number, black carbon, and PM10, PM2.5, and Pm1 levels and Speciation: Influence of road traffic emissions on urban air quality. *Aerosol Science and Technology*, 44, 487–499
- Petetin, H.; Bowdalo, D.; Soret, A.; Guevara, M.; Jorba, O.; Serradell, K.; Pérez García-Pando, C. Meteorology-normalized impact of COVID-19 lockdown upon NO2 pollution in Spain. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 2020, 20, 11119–11141.
- Prtr España. Partículas PM10. Available online: <http://www.prtr-es.es/Particulas-PM10,15673,11,2007> (accessed on 8 September 2020).
- Rigolon, A. A complex landscape of inequity in access to urban parks: A literature review. *Landsc. Urban Plan.* 2016, 153, 160–169.
- Setiabudi, A.; Makkee, M.; Moulijn, J.A. The role of NO2 and O2 in the accelerated combustion of soot in diesel exhaust gases. *Appl. Catal. B Environ.* 2004, 50, 185–194.
- Sohrabi, C., Alsafi, Z., O'Neill, N., Khan, M., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Agha, R., & Agha, R. (2020). World health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). *International Journal of Surgery*, 76, 71–76.
- Suzumura, T.; Kanezashi, H.; Dholakia, M.; Ishii, E.; Napagao, S.A.; Pérez-Arnal, R.; Garcia-Gasulla, D. The Impact of COVID-19 on Flight Networks. *arXiv* 2020, arXiv:2006.02950.
- Venter, Z.S.; Aunan, K.; Chowdhury, S.; Lelieveld, J. COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2020, 117, 18984–18990.
- Xie, J.; Luo, S.; Furuya, K.; Sun, D. Urban Parks as Green Buffers During the COVID-19 Pandemic. *Sustainability* 2020, 12, 6751.

ESTUDIO Y MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO REGULANDO LA CAPACIDAD DE LOS COMPRESORES

STUDY AND IMPROVEMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE COOLING SYSTEM BY REGULATING THE CAPACITY OF THE COMPRESSORS

Javier Cárcel-Carrasco

Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es

PhD. from the polytechnic university of Valencia. Full professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. E-mail: fracarc1@csa.upv.es

Aurora Martínez-Corral

Ph. D. por la Universitat Politècnica de Valencia. Profesora en el departamento de Construcciones Arquitectónicas de la UPV. E-mail: aumarcor@csa.upv.es

PhD. from the polytechnic university of Valencia. Professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. E-mail: aumarcor@csa.upv.es

Jaime Langa-Sanchís

Ph. D. Student por la Universitat Politècnica de València. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: jailansa@csa.upv.es

José Antonio Cárcel-Carrasco

Ph. D. Student por la Universitat Politècnica de València. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: jacarcel@hotmail.com

Resumen

Una parte fundamental del consumo eléctrico de las principales industrias del sector alimentario proviene de la producción de refrigeración, necesaria en todas las fases productivas. Por tanto, toda medida que tenga como objetivo optimizar el consumo eléctrico y aumentar la eficiencia de los sistemas de refrigeración industrial centralizados ayudará al derroche energético de la empresa, mejorando la fiabilidad y el mantenimiento. Actuar sobre la regulación de la capacidad de los compresores de potencia utilizados puede ser una buena forma de ahorrar energía. Este artículo muestra un caso estudiado por los autores en una empresa industrial del sector cárnico en España, donde los sistemas de refrigeración tienen una gran importancia en el proceso productivo. Muestra la metodología utilizada, la descripción de las acciones realizadas y los resultados obtenidos. Estas medidas combinadas supusieron una mejora, con un valor de ahorro energético que alcanzó los 400 MWh anuales, lo que supuso un equivalente en reducción de emisiones de CO₂ de 147,9 toneladas.

Keywords: Planta de refrigeración industrial; Industria de alimentos; Eficiencia energética; Compresores frigoríficos.

Abstract

A fundamental part of the electricity consumption of the main industries of the food sector comes from the production of refrigeration, necessary in all productive phases. Therefore, any measure that aims to optimize electricity consumption and increase the efficiency of centralized industrial refrigeration systems will help the company's energy waste, improving reliability and maintenance. Acting on the capacity regulation of the power compressors used can be a good way to save energy. This article shows a case studied by the authors in an industrial company in the meat sector in Spain, where refrigeration systems have a great importance in the production process. It shows the methodology used, the description of the actions carried out and the results obtained. These combined measures represented an improvement, with an energy saving value that reached 400 MWh per year, which meant an equivalent in CO₂ emissions reduction of 147.9 tons.

Keywords: Industrial refrigeration plant; Food industry; Energy efficiency; Refrigerated compressors.

Introducción

Este trabajo muestra las oportunidades potenciales de ahorro energético en una gran industria en sus instalaciones de refrigeración industrial, mediante la combinación del uso de la regulación de velocidad de los compresores con el control deslizante en los compresores de grandes frigoríficos. Para ello, se ha estudiado la producción frigorífica, considerando una gran fábrica de la industria cárnica ubicada en la Comunidad Valenciana, España (Cárcel Carrasco et al., 2013), analizando el consumo de energía eléctrica, sugiriendo las acciones a realizar y ejecutando las medidas necesarias para lograr la máxima eficiencia en la producción de refrigeración industrial.

La mejora de la eficiencia energética de los sistemas de refrigeración industrial en la industria cárnica se ha analizado desde diferentes aspectos (Calm, 2002; Yang & Zhang, 2011; Aprea et al., 2011; Bell & Groll, 2010; Escrivá-Escrivá et al., 2010). En este trabajo se verán los resultados de la mejora de un gran sistema de refrigeración industrial, describiendo un caso práctico donde se han implementado medidas para la mejora energética de este sistema mediante la regulación de la velocidad de los motores eléctricos en combinación con la variación de la volumétrica. relación de compresión por la regulación física del carro mecánico integrado en los compresores, permitiendo evaluar la efectividad de esta técnica en un sector tan prometedor como es la industria cárnica. Este artículo analiza el estudio de un caso real en una industria cárnica de primer nivel ubicada en España, donde el consumo energético en refrigeración industrial es del 44,1% del total. El trabajo está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se describen las principales características del sistema de refrigeración industrial de la empresa. Más adelante se exponen las medidas, realizadas para establecer el proceso de mejora combinando la regulación de velocidad con la regulación mecánica de deslizamiento de los compresores para adecuar la capacidad del sistema. Una vez analizada la capacidad de las diferentes líneas frigoríficas, otras partes muestran las medidas adoptadas y los resultados obtenidos, que muestran importantes ahorros de energía en la planta frigorífica, cercanos a los 400 MWh anuales.

Caso de estudio. Mejora de la capacidad de regulación en compresores de refrigeración y mediciones.

En el presente artículo se ha procedido con el estudio de la empresa ubicada en la Comunidad Valenciana en España, donde cuenta con un complejo compuesto por un centro de procesamiento de carne de vacuno rodeado de las instalaciones anexas necesarias para el buen funcionamiento de la actividad principal. En esta fábrica se ejecutan diariamente dos turnos de trabajo de 8 horas cada uno, más un tercer turno de limpieza.

El diseño de esta fábrica tiene en cuenta características como operar con el mayor respeto por el medio ambiente, así como para lograr los más altos índices de eficiencia en operación, habiendo obtenido importantes premios nacionales e internacionales. El consumo de energía eléctrica se ha estudiado, donde se ha observado el perfil de consumo de energía eléctrica para las distintas épocas del año. Dentro del consumo de energía eléctrica de la fábrica, los sistemas de refrigeración suponen un porcentaje del 44,1% del total. En la Figura 1 se ha estudiado el funcionamiento de los diferentes grupos de compresores en un periodo concreto. En cambio, en la Figura 3 se puede observar gráficamente el perfil de funcionamiento obtenido de los diferentes grupos de compresores en un periodo de tiempo variado. De la misma forma, se realizaron mediciones más detalladas para un día típico de invierno durante el mes de febrero.

Según el análisis cabe destacar datos como el conjunto de compresores se encuentra en una media del 70% del tiempo entre el 50% y el 90% de capacidad, hecho que apunta a una clara oportunidad de ahorro energético para la solución de ahorro energético propuesta. A partir de este análisis de capacidad, se pueden establecer medidas de eficiencia energética mediante dos acciones de regulación de velocidad en los compresores A6 y A9, en combinación con la regulación de capacidad por la corredera.

Introduction

This work shows the potential energy saving opportunities in a large industry in its industrial refrigeration facilities, by combining the use of compressor speed regulation with the slider in large refrigerator compressors. To this end, refrigeration production has been studied, considering a large factory of the meat industry located in the Valencian Community, Spain (Cárcel Carrasco et al., 2013), analyzing the consumption of electrical energy, suggesting the actions to be carried out and executing the necessary measures to achieve maximum efficiency in the production of industrial refrigeration.

The improvement of the energy efficiency of industrial refrigeration systems in the meat industry has been analyzed from different aspects (Calm, 2002; Yang & Zhang, 2011; Aprea et al., 2011; Bell & Groll, 2010; Escrivá-Escrivá et al., 2010). In this work we will see the results of the improvement of a large industrial cooling system, describing a practical case where measures have been implemented for the energy improvement of this system by regulating the speed of the electric motors in combination with the variation of the volumetric compression ratio by the physical regulation of the mechanical trolley integrated into the compressors, allowing to evaluate the effectiveness of this technique in a sector as promising as the meat industry. This article analyzes the study of a real case in a first-class meat industry located in Spain, where energy consumption in industrial refrigeration is 44.1% of the total. The work is organized as follows: Section 2 describes the main features of the company's industrial refrigeration system. Following there are the measures are presented, made to establish the improvement process by combining the speed regulation with the mechanical regulation of sliding of the compressors to adapt the capacity of the system. Once the capacity of the different refrigeration lines has been analyzed, other parts shows the measures adopted and the results obtained, which show significant energy savings in the refrigeration plant, close to 400 MWh per year.

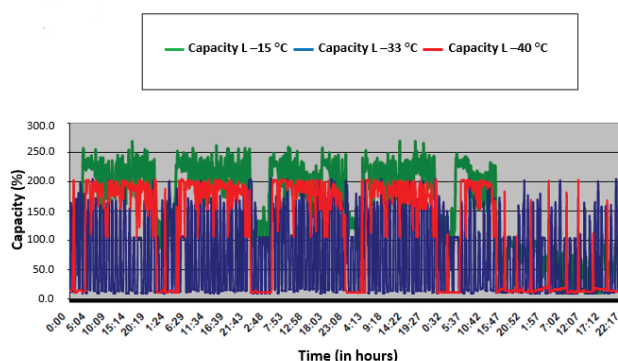


Figura 1. Perfil de funcionamiento de los diferentes grupos de compresores en el período estival. Figure 1. Operating profile of the different compressor groups in the summer period.

Case study. Improvement of the regulation capacity in refrigeration compressors and measurements.

This article has proceeded with the study of the company located in the Valencian Community in Spain, where it has a complex composed of a beef processing center surrounded by the annexed facilities necessary for the proper functioning of the main activity. In this factory, two work shifts of 8 hours each are executed daily, plus a third cleaning shift. The design of this factory takes into account characteristics such as operating with the greatest respect for the environment, as well as to achieve the highest efficiency rates in operation, having obtained important national and international awards. The consumption of electrical energy has been studied, where the profile of electricity consumption for the different times of the year has been observed. Within the electrical energy consumption of the factory, cooling systems account for a percentage of 44.1% of the total. Figure 1 has studied the operation of the different groups of compressors in a specific period. On the other hand, in Figure 3 it can be seen graphically the operating profile obtained from the different groups of compressors in a typical summer week, during a few days of the first week of July. In the same way, more detailed measurements were made for a typical winter day during the month of

February. The design of this factory takes into account characteristics such as operating with the greatest respect for the environment, as well as to achieve the highest efficiency rates in operation,

Mejora de la Eficiencia Energética por Regulación de velocidad en compresores A6 y A9. Resultados obtenidos.

A partir del análisis de capacidad realizado, se propuso optimizar la gestión de capacidad del compresor A6 del circuito de amoniaco a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, integrando un variador de velocidad y gestionando la regulación del carro en conjunto con la variación de velocidad en función de la presión de succión (evaporación) para que el sistema pueda funcionar según el gráfico de la 4, extraído de las características proporcionadas por el fabricante de los compresores de refrigeración.

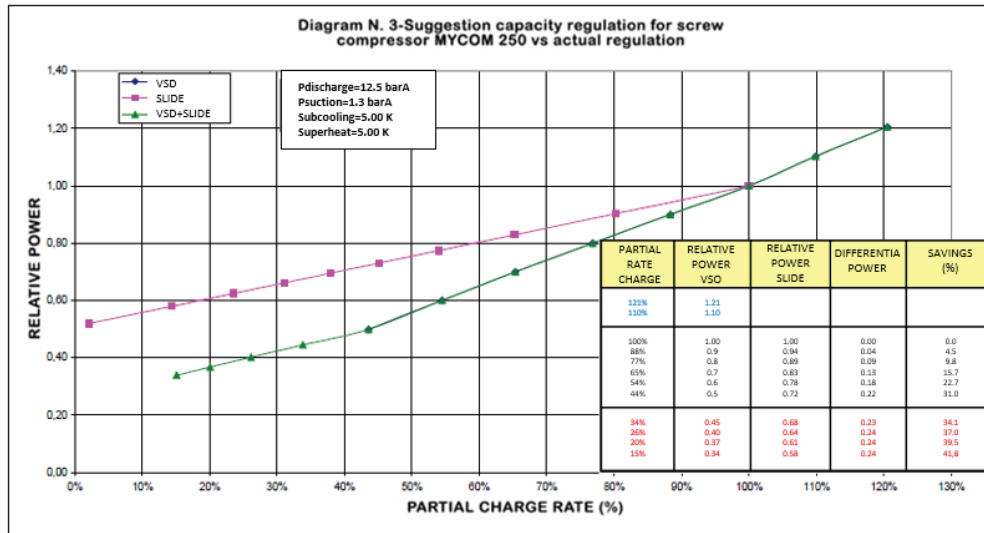


Figura 4. Gráfico de integración de la regulación de deslizamiento con variación de velocidad en los compresores N ° 6 y 9. Figure 4. Sliding regulation integration chart with speed variation on compressors No. 6 and 9.

Como se puede apreciar en los datos de la Fig.4, en todo el rango de regulación (100% a 44%), límites impuestos por las condiciones de trabajo del motor / compresor (lubricación y ventilación) establecidos por el fabricante en cuanto a la velocidad de centrifugado (2950 rpm a 1475 rpm), se pueden lograr ahorros de hasta un 31%. También cabe destacar que para el rango de regulación superior (100% a 80%), el control de capacidad mediante el carro actúa de forma similar a las condiciones de variación de velocidad, con la consecuente reducción de oportunidades de ahorro energético.

Otro aspecto a destacar es que con la opción de variación de velocidad se puede ampliar el rango de trabajo hasta alcanzar la velocidad máxima de rotación permitida por el fabricante (consideraciones mecánicas) de 3.540 rpm, y de esta forma los compresores podrían ampliar su capacidad frigorífica teórica a 120 % del nominal. En la Tabla 1 se puede ver cómo el trabajo entre los diferentes compresores de un mismo circuito está bastante distribuido. Esta posibilidad no se puede realizar mediante un control mecánico de deslizamiento. De la misma forma que con el compresor A6 del circuito de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, y según el análisis de capacidad realizado, se propuso optimizar la gestión de capacidad del compresor A9 del circuito de amoniaco a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, integrando un variador de velocidad y gestionando la regulación de la corredera junto con la variación de velocidad en función de la presión de aspiración (evaporación), para que el sistema pueda funcionar según el gráfico de la Fig.4.

having obtained important national and international awards. The consumption of electrical energy has been studied, where the profile of electricity consumption for the different times of the year has been observed. Within the electrical energy consumption of the factory, cooling systems account for a percentage of 44.1% of the total.

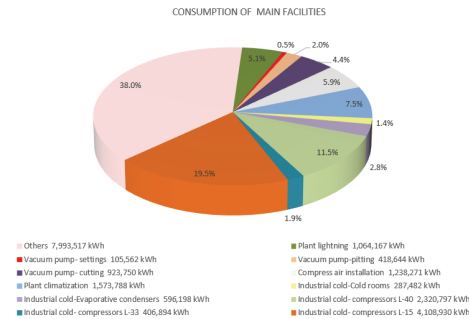


Figura 2. Sectorización del consumo eléctrico por instalaciones principales. Figure 2. Sectorization of electricity consumption by main facilities.

Figure 3 shows graphically the operating profile obtained from the different groups of compressors in different time period. Similarly, more detailed measurements were made for a typical winter day during the month of February.

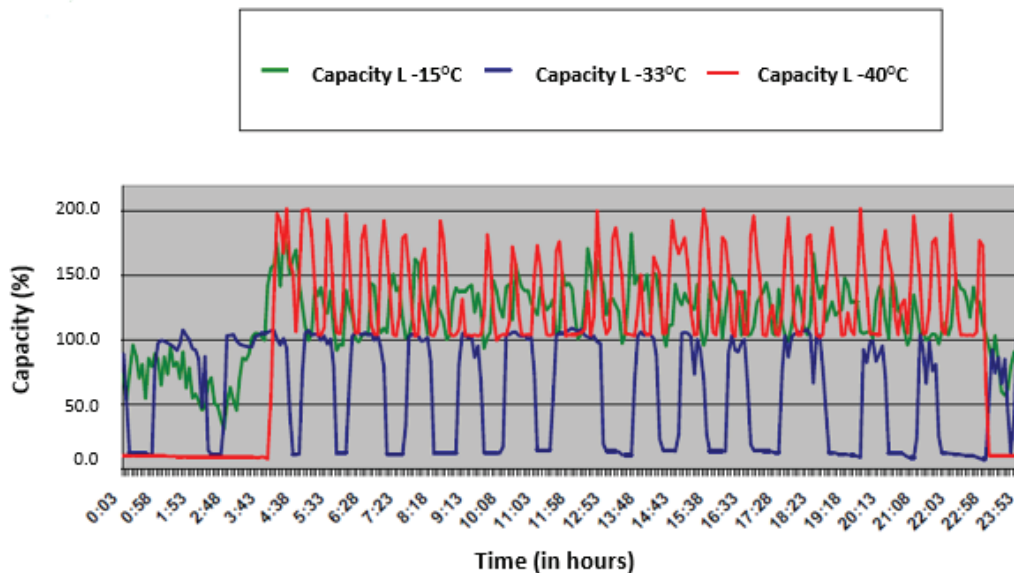


Figura 3. Perfil de operación para un día típico de febrero. Figure 3. Operation profile for a typical February day.

According to the analysis, it is worth highlighting data such as the set of compressors is in an average of 70% of the time between 50% and 90% of capacity, a fact that points to a clear opportunity for energy saving for the proposed energy saving solution. From this capacity analysis, energy efficiency measures can be established through two speed regulation actions in compressors A6 and A9, in combination with the capacity regulation by the slide.

Improvement of Energy Efficiency by Speed Regulation in compressors A6 and A9. Results.

From the capacity analysis carried out, it was proposed to optimize the capacity management of the A6 compressor of the ammonia circuit at -15 ° C, integrating a variable speed drive and managing the regulation of the trolley in conjunction with the speed variation depending on the suction pressure (evaporation) so that the system can work according to the graph in Fig.4, extracted from the characteristics provided by the manufacturer of refrigeration compressors.

From the capacity analysis carried out, it was proposed to optimize the capacity management of the A6 compressor of the ammonia circuit at -15°C , integrating a variable speed drive and managing the regulation of the trolley in conjunction with the speed variation depending on the

Tabla 1. Resultados de ahorro energético por variación de velocidad en compresor N°. 9. **Table 1.** Results of energy savings by speed variation in compressor N°. 9.

COMP.A9		Absorbed	Refrigerati	COP	Abs.	COP	Specific	Estimated
Capacity (%)	Time	power(kW)	on power (kW)	(no VSD)	VSD (kW)	(VSD)	saving	saving (kWh)
95-100	13,53%	270,10	403,90	1,5	278,20	1,45	2,00%	6.404
90-95	4,98%	259,00	354,90	1,37	248,84	1,43	-3,92%	-4.429
85-90	4,31%	251,80	323,50	1,28	230,30	1,4	-8,54%	-8.125
80-85	3,89%	245,40	294,80	1,2	213,31	1,38	-13,08%	-10.929
75-80	3,40%	239,50	268,40	1,12	197,55	1,36	-17,52%	-12.513
70-75	2,86%	234,00	243,90	1,04	182,82	1,33	-21,87%	-12.809
65-70	2,44%	229,00	221,10	0,97	169,23	1,31	-26,10%	-12.765
60-65	2,84%	224,30	199,50	0,89	156,04	1,28	-30,43%	-16.979
55-60	2,84%	207,60	164,00	0,79	136,06	1,21	-34,46%	-17.787
50-55	7,07%	204,70	152,10	0,74	131,84	1,15	-35,59%	-45.119
45-50	0,71%							
40-45	0,75%							
35-40	0,74%							
30-35	0,86%	191,10	95,00	0,50	111,54	0,87	-42,86%	-49.471
25-30	0,86%							
20-25	0,87%							
15-20	0,84%							
10-15	1,27%							
0-10	44,95%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Discusión

En vista del estudio para mejorar la eficiencia energética del sistema de refrigeración industrial para una fábrica de procesamiento de carne, se ha observado que la combinación de medidas mediante variación de capacidad por deslizamiento mecánico de los compresores de refrigeración junto con acciones de variación de velocidad produce mejores resultados. que se traducen en una mejora sustancial en la eficiencia energética combinada.

El análisis debe considerar la totalidad del sistema de producción de refrigeración considerando el número total de horas de funcionamiento; esto hace que se tome la mejor decisión, ya que no es necesario instalar regulación de velocidad en todos los motores eléctricos de los compresores, sino en aquellos que hacen que la regulación del sistema de refrigeración industrial sea óptima a la capacidad conjunta. Esta medida reduce los costes de inversión a realizar para la mejora total del sistema. Estas medidas combinadas mejoraron un ahorro energético cercano a los 400 MWh anuales, lo que supone una reducción equivalente de emisiones de CO_2 de 147,9 toneladas. Asimismo, se ha comprobado que tras un periodo de aplicación de las medidas, existen otras ventajas además del ahorro energético, como una mejor mantenibilidad debido a una mejor distribución de capacidad y evitar que los componentes funcionen en horas excesivas y otras pocas.

Estos resultados colaterales son importantes en la operación y mantenimiento de este tipo de planta industrial (Cárcel-Carrasco et al., 2013; Cárcel-Carrasco & Cárcel-Carrasco, 2021), siendo una de las áreas de preocupación para lograr industrias eficientes con respecto a medio ambiente (Ríos, 2006; Canales, 2005; Jacques, 2010; Schneider Electric, 2010). Con todo ello, se demuestra la importancia de combinar diferentes sistemas de regulación en compresores de refrigeración industrial con el fin de mejorar la eficiencia energética, de forma que pueda ser entendido por los profesionales del sector e introducir nuevas líneas de investigación para mejorar la eficiencia de estos sistemas.

suction pressure (evaporation) so that the system can work according to the graph in Fig.4, extracted from the characteristics provided by the manufacturer of refrigeration compressors.

As can be seen in the data in Fig.4, in the entire regulation range (100% to 44%), limits imposed by the working conditions of the engine / compressor (lubrication and ventilation) set by the manufacturer in terms of spin speed (2950 rpm at 1475 rpm), savings of up to 31% can be achieved. It should also be noted that for the higher regulation range (100% to 80%), the capacity control by the trolley acts in a similar way to the conditions of speed variation, with the consequent reduction of opportunities for energy savings. Another aspect to highlight is that with the option of speed variation the working range can be extended to reach the maximum rotation speed allowed by the manufacturer (mechanical considerations) of 3,540 rpm, and in this way the compressors could expand their theoretical cooling capacity to 120% of the nominal. This possibility cannot be realized by a mechanical sliding control. In Table 1 it can be seen how the work between the different compressors of the same circuit is quite distributed.

In the same way as with the A6 compressor of the -15°C circuit, and according to the capacity analysis carried out, it was proposed to optimize the capacity management of the A9 compressor of the ammonia circuit at -40°C , integrating a variable speed drive and managing the regulation of the slide together with the speed variation depending on the suction pressure (evaporation), so that the system can work according to the graph in Fig.4.

Discussion

In view of the study to improve the energy efficiency of the industrial refrigeration system for a meat processing factory, it has been observed that the combination of measurements by mechanical sliding capacity variation of refrigeration compressors together with speed variation actions produces better results, which translate into a substantial improvement in combined energy efficiency.

The analysis should consider the entire refrigeration production system considering the total number of operating hours; this makes the best decision to be made, since it is not necessary to install speed regulation in all the electric motors of the compressors, but in those that make the regulation of the industrial cooling system optimal to the joint capacity.

This measure reduces the investment costs to be made for the total improvement of the system. These combined measures improved energy savings of close to 400 MWh per year, representing an equivalent reduction in CO₂ emissions of 147.9 tonnes. Likewise, it has been found that after a period of application of the measures, there are other advantages in addition to energy savings, such as better maintainability due to a better distribution of capacity and preventing the components from operating in excessive hours and a few others.

These collateral results are important in the operation and maintenance of this type of industrial plant (Cárcel-Carrasco et al., 2013; Cárcel-Carrasco & Cárcel-Carrasco, 2021), being one of the areas of concern to achieve efficient industries with respect to the environment (Ríos, 2006; Canales, 2005; Jacques, 2010; Schneider Electric, 2010). With all this, the importance of combining different regulation systems in industrial refrigeration compressors in order to improve energy efficiency is demonstrated, so that it can be understood by professionals in the sector and introduce new lines of research to improve the efficiency of these systems.

Conclusiones

Evidentemente, dada la complejidad de las instalaciones frigoríficas, la implementación de mejoras energéticas no siempre resulta en ahorros importantes, y en algunos casos, pueden tener un impacto directo en la confiabilidad de las instalaciones, por lo que realizar estudios de viabilidad técnica y económica es esencial.

Es importante señalar que, además del ahorro económico y el uso de variadores de velocidad que supondrá como control de capacidad en los compresores de tornillo, existen otras consideraciones que se deben tener en cuenta, como la mejora en el mantenimiento o el aumento de la fiabilidad del sistema.

Se debe estudiar en detalle el uso de variadores de velocidad en motores estándar, ya que la reducción de velocidad implica una reducción lineal de la potencia (par constante), por lo que a velocidades de rotor bajas, el nivel de enfriamiento puede no ser el adecuado para extraer el calor generado, causando problemas de sobrecalentamiento. Esta situación se resuelve fácilmente con la inclusión de un accesorio de ventilación forzada, control de la temperatura del devanado (sondas térmicas) o control de sobrecargas del motor (módulo de control del variador).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo mostrado por todo el personal técnico y directivo de la industria objeto de este artículo, así como al estudio realizado por el grupo industrial Schneider Electric España SA sobre eficiencia energética en el tema factoría de este estudio de caso.

Conclusions

Evidently, given the complexity of refrigeration facilities, the implementation of energy improvements does not always result in significant savings, and in some cases, they can have a direct impact on the reliability of the facilities, so conducting technical and economic feasibility studies is essential.

It is important to note that, in addition to the economic savings and the use of variable speed drives that will involve as capacity control in screw compressors, there are other considerations that must be taken into account, such as the improvement in maintenance or the increase in the reliability of the system.

The use of variable speed drives in standard motors should be studied in detail, as speed reduction implies a linear reduction in power (constant torque), so at low rotor speeds, the cooling level may not be adequate to extract the heat generated, causing overheating problems. This situation is easily solved with the inclusion of a forced ventilation accessory, winding temperature control (thermal probes) or motor overload control (drive control module).

Acknowledgments

This work has been possible thanks to the support shown by all the technical and managerial staff of the industry object of this article, as well as the study carried out by the industrial group Schneider Electric España SA on energy efficiency in the factory theme of this case study.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Aprea, C., Maiorino, A., & Mastrullo, R. (2011). Change in energy performance as a result of a r422d retrofit: An experimental analysis for a vapor compression refrigeration plant for a walk-in cooler. *Applied Energy*, 88, 4742–4748. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.049>
- Bell, I. H., & Groll, E. A. (2010). Air-side particulate fouling of microchannel heat exchangers: Experimental comparison of air-side pressure drop and heat transfer with plate-fin heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 31, 742–749. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.10.019>
- Calm, J. M. (2002). Emissions and environmental impacts from air-conditioning and refrigeration systems. *International Journal of Refrigeration*, 25(3), 293–305. [https://doi.org/10.1016/s0140-7007\(01\)00067-6](https://doi.org/10.1016/s0140-7007(01)00067-6)
- Canales, C. C. (2005). Guía de Mejores técnicas disponibles En España del Sector cárnico. Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente.
- Cárcel Carrasco, F., ROLDAN PORTA, C., GRAU CARRION, J. (2013). La Sinergia Entre El Diseño De Planta Industrial Y Mantenimiento-Explotación Eficiente. Un Ejemplo De Éxito: El Caso Martínez Loriente S.A. *Dyna Ingeniería e Industria*, 89, 159–164. <https://doi.org/10.6036/5856>
- Cárcel-Carrasco, J., & Cárcel-Carrasco, J.-A. (2021). Analysis for the knowledge management application in Maintenance Engineering: Perception from maintenance technicians. *Applied Sciences*, 11, 703. <https://doi.org/10.3390/app11020703>
- Escrivá-Escrivá, G., Segura-Heras, I., & Alcázar-Ortega, M. (2010). Application of an energy management and control system to assess the potential of different control strategies in hvac systems. *Energy and Buildings*, 42, 2258–2267. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.07.023>
- Jacques, S. (2010). Ventajas del uso de los Variadores de Velocidad en la Circulación de Fluidos, Cuaderno técnico N° 214. Schneider Electric. Retrieved 2021, from https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Cahier+Technique&p_File_Name=CT214.pdf&p_Doc_Ref=CT-214-Z002.
- Rios, G. (2006). LIMPIA producción MEDITERRÁNEO Centro DE Actividad REGIONAL para la PRODUCCIÓN Limpia (car/pl) Plan de ACCIÓN para el Mediterráneo. CARPL. Retrieved 2021, from https://www.academia.edu/15796156/LIMPIA_producci%C3%B3n_MEDITERR%C3%81NEO_Centro_de_Actividad_Regional_para_la_Producci%C3%B3n_Limpia_CAR_PL_Plan_de_Acci%C3%B3n_para_el_Mediterr%C3%A1neo.
- Schneider Electric, . (2010). Guía Práctica De EFICIENCIA energética: Schneider Electric. Guía de Soluciones . Retrieved 2021, from <https://www.se.com/es/es/download/document/ESMKT12001H10/>.
- ZELENVIĆ, D. (1982). Flexibility- a condition for effective production systems. *International Journal of Production Research*, 20, 319–337. <https://doi.org/10.1080/00207548208947770>
- Yang, L., & Zhang, C.-L. (2011). On Subcooler design for integrated TWO-TEMPERATURE supermarket refrigeration system. *Energy and Buildings*, 4(1), 224–231. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.016>

ITALIA Y EL ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN. LOS DESAFIOS Y OPORTUNIDADES

ITALY AND THE PRELIMINARY ANALYSIS OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE. THE CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Javier Cárcel-Carrasco

Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es

PhD. from the polytechnic university of Valencia. Full professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. E-mail: fracarc1@csa.upv.es

Aurora Martínez-Corral

Ph. D. por la Universitat Politècnica de Valencia. Profesora en el departamento de Construcciones Arquitectónicas de la UPV. E-mail: aumarcor@csa.upv.es

PhD. from the polytechnic university of Valencia. Professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. E-mail: aumarcor@csa.upv.es

Fabiola Colmenero Fonseca

Investigadora en el Instituto de Tecnología de Materiales. ETS. Ingeniería de Edificación; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesora Investigadora, Arquitecto con Reconocimiento Laureado por la Universidad de Guanajuato, Master en Paisajismo, Jardinería y Espacio Público por la Universidad de Granada, Maestra en Ciudad y Espacio Público Sustentable por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente y Doctora en Artes por la Universidad de Guanajuato. E-mail: fcolmenerof@outlook.com

Consuelo Gómez-Gómez

Ph. D. Student por la Universitat Politècnica de València. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: magogo@doctor.upv.es

Resumen

En el presente artículo se ha analizado el funcionamiento de la gestión de residuos en Italia ajustando su sistema a la Unión Europea, en materia de Construcción y Demolición, teniendo en cuenta la disposición de material procedente de la producción de C&D (Construction y Demolition). En Italia, la disposición puede diferir según las regiones en las que se divide, y esto debe tenerse en cuenta a la hora de analizar información que refleje los distintos aspectos logísticos vinculados al territorio. A través de la recolección de datos, se ha visto el diferente volumen que se genera en las actividades relacionadas con la construcción en el país, junto con el volumen de residuos recuperados. Así, el objetivo de este trabajo es profundizar en el conocimiento general sobre los residuos producidos por la Construcción y Demolición en Italia y las prácticas de gestión de residuos adoptadas según la Unión Europea.

Palabras clave: Residuos de C&D; construcción; demolición; Unión Europea; reciclaje.

Abstract

This article has analyzed the operation of waste management in Italy adjusting its system to the European Union, in terms of Construction and Demolition, taking into account the disposal of material from the production of C & D (Construction and Demolition). In Italy, the arrangement may differ according to the regions into which it is divided, and this must be taken into account when analyzing information reflecting the different logistical aspects linked to the territory. Through data collection, the different volume that is generated in construction-related activities in the country has been seen, along with the volume of waste recovered. Thus, the objective of this work is to deepen the general knowledge about the waste produced by Construction and Demolition in Italy and the waste management practices adopted according to the European Union.

Keywords: C&D waste; construction; demolition; European Union; recycling.

Introducción

Los residuos derivados de la construcción y demolición se producen mundialmente en grandes cantidades (Letcher & Vallero, 2011). El nivel de peligrosidad es bastante bajo, y es fácil evitar las normativas vigentes sobre su disposición, desechándolos en lugares no autorizados (Pillari, 2019). En el caso italiano, considerando el año 2018, último año del que se conocen los datos, la cantidad de residuos especiales generados fue de alrededor de 143 millones de toneladas, de las cuales 59 millones de toneladas fueron producto únicamente de las actividades de C&D (ISPRA, 2020). Los resultados sobre generación y residuos recuperados implican no solo a todo el país sino también a las regiones. Como se muestra en la Figura 1, el país está dividido en regiones, pero se hace una distinción más amplia entre tres categorías: norte, centro y sur.



Figura 1. Regiones de Italia y división entre territorios. Fuente: elaboración propia

Las distintas partes en las que se divide el país ofrece una gran variedad de información que muestra cómo la economía y el desarrollo industrial se vincula directamente a los diferentes datos obtenidos (Barbaro, 2018; European Commission, 2018; European Commission, 2020). Debe tenerse en cuenta que las tres zonas tienen una ligera división que contribuye de distinta al desarrollo del país; en el norte se desarrollan más las industrias y la producción, el centro es la zona administrativa con la capital y en el sur encontramos la mayoría de la producción agrícola. El artículo pretende enfatizar cuáles son las zonas con mayor cantidad de residuos producidos y reciclados y las razones de tal comportamiento.

Italia fue el primer país, entre los Estados miembros de la UE, en imponer la obligación de aplicar CAM (Criterios Ambientales Mínimos) para las estaciones de contratación pública, relanzando la importancia que juegan las compras de tipo verde como herramienta estratégica (Ronchi & Nepi, 2013). Con los buenos resultados en residuos de C&D reciclados que alcanzaron más del 75% en 2017 (último año para el que se reportan los datos), la implicación en el país para alcanzar el estándar europeo se encuentra en buen camino, pero aún así, la política y las barreras sociales, como las prácticas ilegales implementadas en el pasado, mantienen un nivel de desconfianza en el uso de residuos reciclados (European Union, 2008). Por tanto, este trabajo tiene como objetivo evaluar cuestiones que afectan de forma indirecta y directa al proceso de residuos y el papel de la normativa vigente por parte de la Unión Europea.

Introduction

Waste from construction and demolition is produced worldwide in large quantities (Letcher & Vallero, 2011). The level of danger is quite low, and it is easy to avoid the current regulations on their disposition, discarding them in unauthorized places (Pillari, 2019). In the Italian case, considering the year 2018, the last year for which the data are known, the amount of special waste generated was around 143 million tons, of which 59 million tons were the product only of C&D activities (ISPRA, 2020). The results on generation and recovered waste involve not only the whole country but also the regions. As shown in Figure 1, the country is divided into regions, but a broader distinction is made between three categories: north, center, and south.



Figure 1. Regions of Italy and division between territories. Source: own elaboration

The different parts into which the country is divided offer a wide variety of information that shows how the economy and industrial development is directly linked to the different data obtained (Barbaro, 2018; European Commission, 2018; European Commission, 2020). It should be borne in mind that the three zones have a slight division that contributes differently to the development of the country; in the north industries and production are developed more, the center is the administrative area with the capital and in the south, we find most of the agricultural production. The article aims to emphasize which are the areas with the highest amount of waste produced and recycled and the reasons for such behavior.

Italy was the first country, among EU member states, to impose the obligation to apply CAM (Minimum Environmental Criteria) for public procurement stations, relaunching the importance of green purchases as a strategic tool (Ronchi & Nepi, 2013). With good results in recycled C&D waste reaching more than 75% in 2017 (the last year for which the data are reported), the involvement in the country to reach the European standard is on track, but still, the policy and social barriers, such as illegal practices implemented in the past, maintain a level of distrust in the use of recycled waste (European Union, 2008). Therefore, this work aims to evaluate issues that indirectly and directly affect the waste process and the role of current regulations by the European Union.

Materiales y métodos

Toda la información recogida es bastante estadística, procedente del análisis y la interpretación de las diferentes evidencias recogidas. Los escenarios presentados reflejan la naturaleza diversa del territorio y cómo las políticas implementadas y la organización interna pueden afectar la producción de residuos. Una fuente fundamental para la recolección de datos está representada por el sitio web gubernamental oficial de ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale); esta institución es la encargada de recopilar todos los datos de todo tipo de residuos, incluido el C&D (ISPRA, 2020). Gracias a la información almacenada por ISPRA, la situación en todo el país se puede analizar fácilmente; pero queda difícil una visión completa.

La organización para la gestión de residuos en este país está dividida entre regiones con su administración y su forma de recopilar datos. Este aspecto representa pros y contras; el sistema permitió una mejor administración diseñada para adecuar cada región a cada necesidad diferente pero ofrece datos difíciles de comparar debido a los parámetros considerados en cada zona. El material analizado es el resultado de un trabajo de recopilación realizado por ISPRA en el que se han agrupado todos los datos de producción referentes a residuos y en nuestro caso residuos de C&D.

Los datos tomados en consideración fueron elegidos por su relevancia para el estudio realizado. Se consideraron datos de toda la nación y posteriormente de las diferentes regiones. Para tener una comprensión más clara de la situación actual con respecto a la gestión de residuos C&D, también se han consultado otras fuentes. Gracias a la Unión Europea (European Union, 2008), se pudo llegar a conocer una gran escala de datos y la Comisión Europea cumplimentó la información mostrando los parámetros y requisitos requeridos para un país europeo sobre la gestión de residuos (European commission, n.d.; European Commission, 2018; European Commission, 2020). Se ha comprobado información adicional en EUROSTAT (Dell'Osso, 2020) y de un informe elaborado por la empresa DELOITTE con la colaboración de ISPRA (Comisión Europea, 2015).

Resultados. Los residuos de Construcción y Demolicion y su evolución

Los residuos de C&D presenta dos subgrupos principales, residuos peligrosos y no peligrosos. El grupo C&D puede ser peligroso o no; por lo general, el volumen alto pertenece a la categoría de no peligrosos, y esto significa que las posibilidades de ser reutilizado son altas. Esto se puede ver en la Fig.2 donde es evidente que la cantidad de residuos de C&D es de hasta un 40%, especialmente después de 2003. Durante el año 2017, la producción de residuos especiales alcanzó casi 140 millones de toneladas y el volumen de residuos C&D no peligrosos fue de 56 millones de toneladas (ISPRA, 2020). Como se muestra en la Figura 3, debido a la crisis económica que sufrió el país durante los años 2008 y 2009, se produjo una reducción en la producción de residuos especiales del 5,7%. En 2010, gracias a una mejor situación económica, el aumento de la producción alcanzó el 1,8%, y luego, tras el descenso de la actividad constructora, volvió a sufrir una desviación del 4,3%.

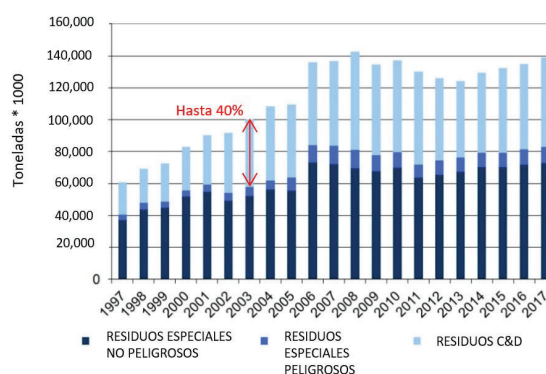


Figura 2. Producción de residuos especiales en Italia. Fuente: Elaboración propia a partir de datos ISPRA.
Figure 2. Production of special waste in Italy. Source: Own elaboration based on ISPRA data

Materials and methods

All the information collected is quite statistical, coming from the analysis and interpretation of the different evidence collected. The scenarios presented reflect the diverse nature of the territory and how implemented policies and internal organization can affect waste production. A key source for data collection is represented by the official government website of ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale); this institution is responsible for collecting all data on all types of waste, including C&D (ISPRA, 2020). Thanks to the information stored by ISPRA, the situation throughout the country can be easily analyzed; but a complete vision is difficult.

The organization for waste management in this country is divided between regions with their administration and their way of collecting data. This aspect represents pros and cons; the system allowed a better administration designed to adapt each region to each different need but offers data difficult to compare due to the parameters considered in each zone. The material analyzed is the result of a collection work carried out by ISPRA in which all the production data referring to waste and in our case C&D waste have been grouped.

The data taken into consideration were chosen for their relevance to the study carried out. Data from the whole nation and subsequently from the different regions were considered. To have a clearer understanding of the current situation regarding C&D waste management, other sources have also been consulted. Thanks to the European Union (European Union, 2008), it was possible to get to know a large scale of data and the European Commission completed the information showing the parameters and requirements required for a European country on waste management (European commission, n.d.; European Commission, 2018; European Commission, 2020). Additional information has been verified in EUROSTAT (Dell'Osso, 2020) and in a report prepared by the company DELOITTE with the collaboration of ISPRA (European Commission, 2015).

Results. Construction and Demolition waste and its evolution

C&D waste has two main subgroups, hazardous and non-hazardous waste. The C&D group may or may not be dangerous; usually, high volume belongs to the category of non-hazardous, and this means that the chances of being reused are high. This can be seen in Fig.2 where it is evident that the amount of C&D residues is up to 40%, especially after 2003. During 2017, the production of special waste reached almost 140 million tons and the volume of non-hazardous C&D waste was 56 million tons (ISPRA, 2020). As shown in Figure 3, due to the economic crisis that the country suffered during the years 2008 and 2009, there was a reduction in the production of special waste of 5.7%. In 2010, thanks to a better economic situation, the increase in production reached 1.8%, and then, after the decline in construction activity, it again suffered a deviation of 4.3%.

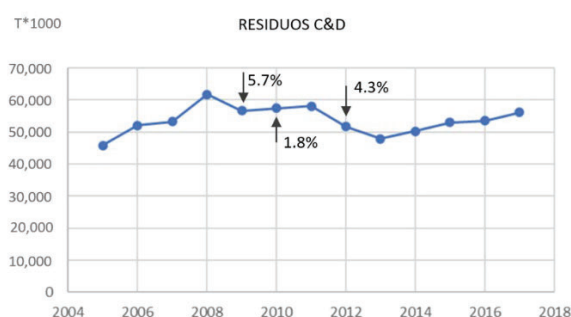


Figure 3. C&D waste production in Italy. Source: Own elaboration based on ISPRA data.

The proper collection of the material allows a better handling of the same and following article 181 of Legislative Decree 152/06 subsection b, by 2020, at least 70% in terms of weight, reuse, recycling, and other types of material recovery, including landfill, must be achieved. The behavior of the country under this aspect is quite good, as of 2011, the amount of waste prepared for reuse has exceeded the established amount, reaching 75% of the waste generated (ISPRA, 2020). As shown in Figure 4, the level required by the European Union of 70% was not reached before 2010. This behavior changed from 2011, when the target of 70% of waste was exceeded by 4.1%, with a bullish attitude that reached 76.2% in 2015, the best data obtained to date.

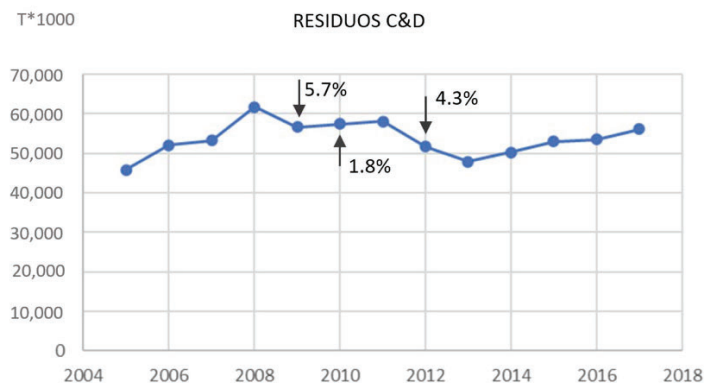


Figura 3. Producción de residuos C&D en Italia. Fuente: Elaboración propia a partir de datos ISPRA.

La adecuada recolección del material permite un mejor manejo del mismo y siguiendo el artículo 181 del Decreto Legislativo 152/06 inciso b, para 2020, al menos el 70% en términos de peso, reutilización, reciclaje y otros tipos de recuperación de material, incluido el relleno, debe ser alcanzado. El comportamiento del país bajo este aspecto es bastante bueno, a partir de 2011, la cantidad de residuos preparados para su reutilización ha superado la cantidad establecida, llegando al 75% de los residuos generados (ISPRA, 2020). Como se muestra en la Figura 4, el nivel requerido por la Unión Europea del 70% no se alcanzó antes de 2010. Este comportamiento cambió a partir de 2011, cuando se superó en un 4,1% la meta marcada del 70% de residuos, con una actitud alcista que llegó al 76,2% en 2015, el mejor dato obtenido hasta la fecha.

En cuanto a los desafíos, caben destacar los siguientes:

- Desconfianza en el uso de productos derivados de residuos
- Falta de datos fiables sobre la producción de residuos inertes
- Falta de herramientas técnicas actualizadas
- Separación de residuos deficiente en origen y uso de prácticas de demolición selectiva
- Falta de tributación minera
- Falta de prohibición u obligación de contribuir para el vertido de residuos inertes
- Obligación de realizar análisis de residuos enviados a valorización / reciclaje
- Criterio End of Waste
- Mercado CE

En una correcta tendencia del mercado, le corresponde al usuario solicitar características mínimas a los áridos y al fabricante garantizarlas. Por tanto, es el fabricante quien asume la responsabilidad tanto de determinar las propiedades de los materiales como de establecer un proceso de control en la fábrica. Se cree que si los diseñadores y directores de obra, en los que se prevé el uso de áridos, requirieran el acompañamiento del material con la documentación necesaria, se solucionarían la mayoría de los problemas del mercado de áridos reciclados.

Por otro lado, para determinar la admisibilidad de residuos en vertederos, se utilizan algunos métodos de muestreo y análisis. Teniendo en cuenta que los vertederos de residuos peligrosos tienen un nivel de protección medioambiental superior a los de residuos no peligrosos, y que estos últimos tienen un nivel de protección medioambiental superior a los de residuos inertes, la entrega de residuos que cumplan los criterios de admisión a cualquier categoría de vertedero en vertederos con un mayor nivel de protección se permite. Según los últimos datos recogidos por Eurostat (Dell'Osso, 2020).

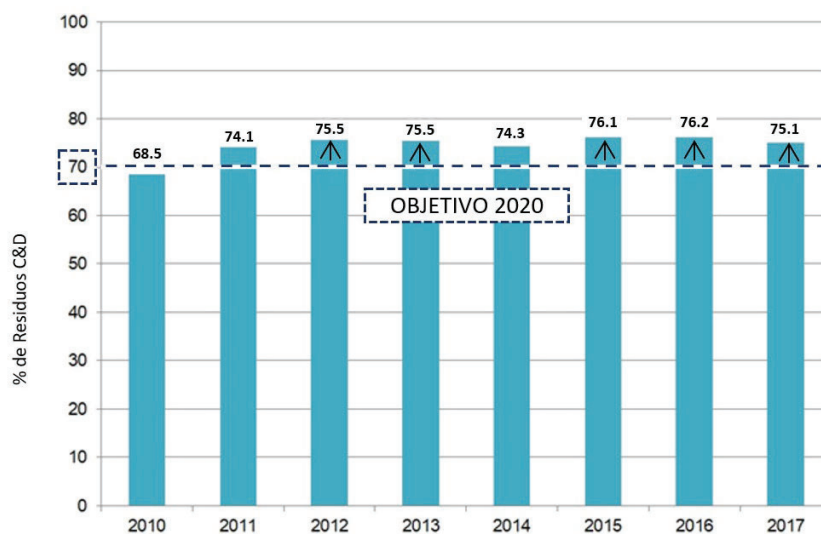


Figura 4. Preparación para reutilización, reciclaje y otras formas de recuperación de material, excluido el relleno. Fuente: Elaboración propia con datos ISPRA **Figure 4.** Preparation for reuse, recycling, and other forms of material recovery, excluding landfilling. Source: Own elaboration with ISPRA data.

In terms of challenges, the following should be highlighted:

- Distrust in the use of waste products
- Lack of reliable data on the production of inert waste
- Lack of up-to-date technical tools
- Poor waste separation at source and use of selective demolition practices
- Lack of mining taxation
- Lack of prohibition or obligation to contribute to the landfill of inert waste
- Obligation to carry out analyses of waste sent for recovery / recycling
- Criterion End of Waste
- Marked CE

In a correct market trend, it is up to the user to request minimum characteristics from the aggregates and the manufacturer to guarantee them. Therefore, it is the manufacturer who assumes responsibility both for determining the properties of the materials and for establishing a control process in the factory. It is believed that if designers and site managers, in which the use of aggregates is foreseen, required the accompaniment of the material with the necessary documentation, most of the problems of the recycled aggregates market would be solved.

On the other hand, to determine the admissibility of waste in landfills, some methods of sampling and analysis are used. Taking into account that landfills of hazardous waste have a higher level of environmental protection than those of non-hazardous waste, and that the latter have a higher level of environmental protection than those of inert waste, the delivery of waste that meets the criteria for admission to any category of landfill in landfills with a higher level of protection is permitted. According to the latest data collected by Eurostat (Dell'Osso, 2020).

Conclusiones

El presente trabajo aborda el estado actual de la situación de la gestión de C&D en Italia, mostrando los buenos resultados en alcanzar los niveles de reciclaje y reutilización de residuos establecidos por la Unión Europea, alcanzando un nivel del 75,1% de material de desecho de C&D preparado para ser reciclado. Sin embargo, se deben atender más cambios y mejoras en cuanto a los diversos resultados entre regiones. Como se muestra en la comparativa entre Lombardía, Valle D'Aosta y Molise, los datos todavía están demasiado afectados por el territorio y el desarrollo de cada zona, la respuesta a la situación económica ha sido impulsada por el desarrollo industrial de cada región, siendo más afectado si está más desarrollado. Este aspecto es imposible de eliminar, pero se podría lograr un resultado más homogéneo si las regulaciones y las reglas se adaptan de la misma manera en todas partes. Otro aspecto a abordar es la gestión de los residuos que no se reciclan (European Commission, 2018), incluso si el 76% de los residuos de C&D se reciclaron, el 24% está destinado al vertedero (Comisión Europea, 2015). Estos datos todavía tienen un valor demasiado alto, pero están mejorando en los últimos años. El principal material casi reciclado en su totalidad es el residuo de tipo mineral, del cual sólo el 3% llega a los vertederos. Para otros materiales sigue en vigor la desconfianza del usuario, la mala separación en origen de los residuos y la falta de prácticas de demolición selectiva (Comisión Europea, 2018). Cuando se abarquen también estos aspectos, se podría continuar el camino hacia una mejor gestión incluyendo la sostenibilidad y las buenas prácticas.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por la Unión Europea en el marco del proyecto Condereff (Ref. PGI05560-Condereff) Políticas de gestión de residuos de construcción y demolición para mejorar la eficiencia de los recursos.

Conclusions

This paper addresses the current state of the situation of C&D management in Italy, showing the good results in reaching the levels of recycling and reuse of waste established by the European Union, reaching a level of 75.1% of C&D waste material prepared to be recycled. However, further changes and improvements in terms of the various outcomes across regions need to be addressed. As shown in the comparison between Lombardy, Valle d'Aosta and Molise, the data are still too affected by the territory and development of each area, the response to the economic situation has been driven by the industrial development of each region, being more affected if it is more developed. This aspect is impossible to eliminate, but a more homogeneous result could be achieved if regulations and rules are adapted in the same way everywhere. Another aspect to address is the management of waste that is not recycled (European Commission, 2018), even if 76% of C&D waste was recycled, 24% is destined for landfill (European Commission, 2015). This data still has too high a value, but it is improving in recent years. The main material almost recycled in its entirety is mineral-type waste, of which only 3% reaches landfills. For other materials, user distrust, poor separation at source of waste and lack of selective demolition practices remains in force (European Commission, 2018). When these aspects are also covered, the path towards better management could continue, including sustainability and good practices.

Acknowledgements

This work was supported by the European Union under the framework of Condereff project (Ref. PGI05560-Condereff) Construction & demolition waste management policies for improved resource efficiency.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Barbaro, G. (20(European Commission, 2018)). Rifiuti Speciali NON PERICOLOSI DA C&D: LA GESTIONE eco-efficiente in Italia. Architettura Ecosostenibile: bioarchitettura e sostenibilità. Retrieved 2021, from <https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/smaltimento-e-riciclo/rifiuti-speciali-non-pericolosi-ced-gestione-eco-efficiente-italia-760>.
- Dell'Osso, G. (2020). An overview about the current situation ON C&D waste ... Dicattechpoliba. Retrieved 2021,
- European Union, . (2008, December). Construction and demolition waste. European Commission. Retrieved 2021, from https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en.
- European Commission, . (2015, October). Screening template for construction and DEMOLITION waste ... European Commission. Retrieved 2021, from https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/deliverables/CDW_Italy_Factsheet_Final.pdf.
- European Commission, . (2018, May). Orientamenti per le verifiche dei rifiuti prima dei lavori ... European Commission. Retrieved 2021, from <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/31521/attachments/1/translations/it/renditions/native>.
- European commission, . (n.d.). European commission, official website. European Commission - European Commission. Retrieved April (European Commission, 2018), 2021, from https://ec.europa.eu/info/index_en.
- European Commission, . (2020). European Statistical Recovery Dashboard. Home - Eurostat. Retrieved April 22, 2021, from <https://ec.europa.eu/eurostat>.
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. (2020). Retrieved May 2021, from <https://www.isprambiente.gov.it/it>.
- Letcher, T., & Vallero, D. (2011). Construction waste. In *Waste: A handbook for management* (1st ed., pp. 207–218). essay, ELSEVIER.
- Pillari, G. (2019, June). Riciclo Dei rifiuti edili E smaltimento degli scarti DA DEMOLIZIONE. Architettura Ecosostenibile: bioarchitettura e sostenibilità. Retrieved May 2021, from <https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/smaltimento-e-riciclo/riciclo-rifiuti-edili-smaltimento-demolizione-220>.
- Ronchi, E., & Nepi, M. (2013). L'Italia del RICICLO L'italia 2017 DEL RICICLO 2017 1 ... FONDAZIONE PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE. Retrieved September 2021, from [https://www.fondazionevilupposostenibile.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/2017/\(European Commission, 2018\)/Rapporto_Italia_del_riciclo_2017.pdf](https://www.fondazionevilupposostenibile.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/2017/(European Commission, 2018)/Rapporto_Italia_del_riciclo_2017.pdf).

DESARROLLO DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS ENCAMINADAS A MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS Y CIUDADES

DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIVE SOLUTIONS AIMED AT IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS AND CITIES

Sergio Navarro García

*Investigador Junior en el Área de Construcciones y energías Renovables; AIMPLAS. Instituto Tecnológico del Plástico; Gustave Eiffel 4, 46980 Paterna, Valencia, España. Químico Orgánico. E-mail: snavarro@aimplas.es
Junior Researcher on the Construction and Renewable Energy Area; AIMPLAS. Technological Institute of Plastic; Gustave Eiffel 4, 46980 Paterna, Valencia, Spain. Organic Chemist. E-mail: snavarro@aimplas.es*

Arsenio Navarro Muedra

*Responsable Área de Construcciones y energías Renovables; AIMPLAS. Instituto Tecnológico del Plástico; Gustave Eiffel 4, 46980 Paterna, Valencia, España. Ingeniero de Materiales, Arquitecto técnico, Doctor en Ingeniería Producción Industrial por la UPV. E-mail: anavarro@aimplas.es
Construction and Renewable Energy Group Lider; AIMPLAS. Technological Institute of Plastic; Gustave Eiffel 4, 46980 Paterna, Valencia, Spain. Materials Engineer, Technical Architect, Doctor in Industrial Production Engineering from the UPV. E-mail: anavarro@aimplas.es*

Resumen

Este trabajo se centra en la investigación y desarrollo de nuevos materiales avanzados en sistemas constructivos que reduzcan la temperatura de edificios y ciudades, así como en la integración de nuevos recursos energéticos utilizando herramientas de digitalización, para contribuir a la eficiencia energética urbana y el confort de sus habitantes. La ejecución de este trabajo ha permitido adquirir nuevos conocimientos en el ámbito de la fabricación de estructuras poliméricas de alta conducción térmica y alta superficie específica mediante la fabricación de un colector solar.

Palabras Clave

Polímeros, materiales conductores, colector térmico, eficiencia energética, simulación.

Abstract

This work is focused on the research and development of new advanced materials in construction systems that reduce the temperature of buildings and cities, as well as the integration of new energy resources using digitization tools, to contribute to urban energy efficiency and the comfort of its inhabitants. The execution of this work has allowed to acquire new knowledge in the field of the manufacture of polymeric structures with high thermal conduction and high specific surface by means of the manufacture of a solar collector.

Keywords

Polymers, conductive materials, thermal collector, energy efficiency, simulation.

Introducción

Una de las propiedades de los materiales plásticos es su baja conductividad térmica, siendo algunos de ellos usados como aislantes térmicos en aplicaciones de edificación, como el poliuretano, el poliestireno y otras poliolefinas. La aditivación y funcionalización de estos polímeros permite aumentar su conductividad térmica sin perder otra de sus características de interés, como es su ligereza. Ajustar la tipología y cantidad de aditivos para mantener ligereza y procesabilidad infiriendo propiedades térmicas es una tarea de investigación profunda. Además, no solo la composición sino la tipología de estructura en la que procesar estos plásticos avanzados requiere de un desarrollo de la tecnología de fabricación para adaptarla a las nuevas características.

Este trabajo se centra en la investigación y desarrollo de nuevos materiales avanzados en sistemas constructivos que reduzcan la temperatura de edificios y ciudades, así como en la integración de nuevos recursos energéticos utilizando herramientas de digitalización, para contribuir a la eficiencia energética urbana y el confort de sus habitantes.

La ejecución de este trabajo ha permitido adquirir nuevos conocimientos en el ámbito de la fabricación de estructuras poliméricas de alta conducción térmica y alta superficie específica mediante la fabricación de un colector solar.

Plan Experimental

Materiales

Se ha procedido a la selección de materiales con los que desarrollar formulaciones de polímeros de alta conductividad, para conseguir una buena disipación del calor.

Primeramente, se ha seleccionado una formulación de partida o de referencia, común en todas las formulaciones desarrolladas y la cual está conformada por los siguientes componentes:

- Resina.
- Carga mineral.
- Iniciador.
- Acelerador.
- Aditivo desaireante.
- Aditivo humectante y dispersante.

De la misma forma, se ha procedido a la selección de una serie de aditivos y cargas conductoras:

- Aditivo conductor 1.
- Aditivo conductor 2.
- Carga conductora 1.
- Carga conductora 2.

Estos materiales conductores son los que se van a incorporar a la anterior formulación base en diferentes concentraciones para, posteriormente, analizar los materiales obtenidos.

Incorporación de cargas conductoras a formulaciones de polímeros

Se incorporan las cargas conductoras a la formulación de referencia en diferentes concentraciones.

El pesaje se realiza en una balanza electrónica siguiendo un orden estipulado, mientras que la mezcla se realiza en una mezcladora intensiva (Figura 1).

Introduction

One of the properties of plastic materials is their low thermal conductivity, some of them being used as thermal insulators in building applications, such as polyurethane, polystyrene, and other polyolefins. The addition and functionalization of these polymers allows their thermal conductivity to be increased without losing another of their characteristics of interest, such as their lightness. Adjusting the type and amount of additives to maintain lightness and processability by inferring thermal properties is a task of deep research. In addition, not only the composition but also the type of structure in which to process these advanced plastics requires a development of the manufacturing technology to adapt it to the new characteristics.

This work focuses on the research and development of new advanced materials in construction systems that reduce the temperature of buildings and cities, as well as the integration of new energy resources using digitization tools, to contribute to urban energy efficiency and the comfort of their inhabitants.

The execution of this work has allowed to acquire new knowledge in the field of the manufacture of polymeric structures with high thermal conduction and high specific surface by means of the manufacture of a solar collector.

Experiment Plan

Materials

We have proceeded to the selection of materials with which to develop formulations of polymers with high conductivity, to achieve good heat dissipation.

Firstly, a starting or reference formulation has been selected, common in all the developed formulations and which is made up of the following components:

- Resin.
- Mineral load.
- Initiator.
- Accelerator.
- Air release additive.
- Wetting and dispersing additive.

In the same way, a series of additives and conductive fillers have been selected:

- Conductive additive 1.
- Conductive additive 2.
- Conductive load 1.
- Conductive load 2.

These conductive materials are the ones that are going to be incorporated into the previous base formulation in different concentrations to subsequently analyse the materials obtained.

Incorporation of conductive fillers to polymer formulations

Conductive fillers are incorporated into the reference formulation at different concentrations.

Weighing is done on an electronic scale following a stipulated order, while mixing is done in an intensive mixer (Figure 1).

Los materiales se deben pesar, incorporar a la cuba de la mezcladora intensiva y premezclar siguiendo el siguiente orden:

- Resina.
- Acelerador.
- Aditivo desaireante y aditivo dispersante.
- Aditivo conductor y/o carga conductora.
- Carga mineral.
- Iniciador.

Una vez se encuentran todos los materiales en la cuba premezclados, se cierra la mezcladora y se inicia el proceso de amasado.

El segundo paso consiste en la eliminación de las burbujas. A causa del mezclado y la viscosidad de la mezcla, se generan burbujas de aire en su interior, por lo que es necesario eliminarlas antes de proceder a la colada de esta. Para ello, se han utilizado una bomba de vacío.

Tras el proceso de colada, se procede al de curado de las probetas. Para ello, se introducen todas las probetas en una estufa y se someten al ciclo de curado marcado por el fabricante de la resina. Es muy importante respetar los tiempos y las temperaturas recomendadas para obtener un correcto curado de la mezcla.

Por último, una vez finalizado el proceso de curado se procede a dejar enfriar las probetas a temperatura ambiente y a desmoldarlas y registrarlas.

Ensayos de caracterización

Se ha procedido a la caracterización de las probetas obtenidas anteriormente mediante la realización de ensayos de conductividad térmica. Los resultados de estos ensayos se recogen en la Tabla 2.

Resultados

Una vez finalizados los ensayos de caracterización, se ha procedido a seleccionar la formulación más adecuada para la aplicación final, que finalmente ha sido la **SS-04: R+AC2Y%**. La principal razón es la alta conductividad térmica que presenta comparado con el resto de las formulaciones, consiguiendo llegar a un valor de 1,72 W/mK. Con esta formulación se procede a la fabricación de un prototipo de colector solar.

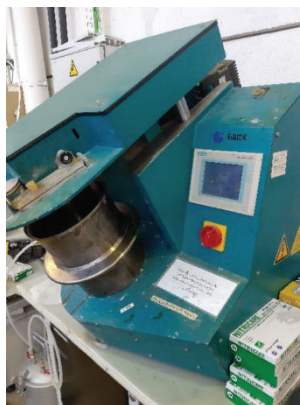


Figura 1. Mezcladora intensiva.

Figure 1. Intensive mixer.

The materials must be weighed, incorporated into the tank of the intensive mixer, and premixed in the following order:

- Resin.
- Accelerator.
- Air release additive and dispersing additive.
- Conductive additive and/or conductive filler.
- Mineral load.
- Initiator.

Once all the materials are premixed in the tank, the mixer is closed, and the kneading process begins.

The second step involves removing the bubbles. Due to the mixing and the viscosity of the mixture, air bubbles are generated inside it, so it is necessary to eliminate them before proceeding to pour it. For this, a vacuum pump has been used.

After the casting process, the specimens are cured. To do this, all the specimens are placed in an oven and subjected to the curing cycle set by the resin manufacturer. It is very important to respect the recommended times and temperatures to obtain a correct curing of the mixture.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de conductividad térmica.

Table 2. Results of thermal conductivity tests.

Referencia Reference	Efusividad térmica Thermal effusivity (Ws ^{1/2} /m ² K)	Conductividad térmica Thermal conductivity (W/mK)	Densidad Density (g/cm ³)	Cp (KJ/KgK)
SS-00: Reference	1315,00	0,986	1,64	1,07
SS-01: R+AC1X%	1288,50	0,95	1,51	1,15
SS-02: R+AC2X%	1402,50	1,09	1,58	1,14
SS-03: R+AC1Y%	1266,50	0,93	1,51	1,14
SS-04: R+AC2Y%	1821,00	1,72	1,53	1,26
SS-05: R+CC1X%	1328,00	1,05	1,65	1,02
SS-06: R+CC1Y%	1411,00	1,10	1,65	1,09
SS-07: R+CC1Z%	1726,50	1,54	1,66	1,17
SS-08: R+CC2X%	1202,00	0,85	1,60	1,06
SS-09: R+CC2Y%	1301,71	0,97	1,65	1,06
SS-12: R+AC1Y%+CC1W%	1152,50	0,80	1,45	1,14
SS-13: R+CC1W%	1210,00	0,86	1,56	1,09
SS-14: R+AC2A%	1198,50	0,85	1,03	1,64
SS-16: R+AC2Y%+CC1Y%	1604,00	1,32	1,42	1,38

Simulación

Previamente a la fabricación del demostrador para validar los resultados de la formulación seleccionada, se llevó a cabo una simulación por elementos finitos para definir el diseño del colector solar. El objetivo de este estudio es el de realizar una serie de simulaciones mediante CFD para estudiar la capacidad de calentamiento del agua en el colector solar, así como las propuestas de mejoras en el diseño del colector. El caso de estudio es el colector solar diseñado por AIMPLAS. Todo el trabajo de simulación ha sido realizado por la Universidad del País Vasco. Concretamente el grupo ENEDI (Energética en la edificación). El programa de CFD empleado en este estudio es ANSYS FLUENT.

Las dimensiones generales del material absorbedor son de 630 mm x 475 mm x 75 mm lo que implica una superficie de 0,3 m². Para la modelización del colector solar se ha supuesto que el panel está inclinado 45°, con una orientación sur.

Los materiales empleados disponen de una conductividad térmica notablemente inferior a la conductividad térmica empleada en los colectores solares convencionales.

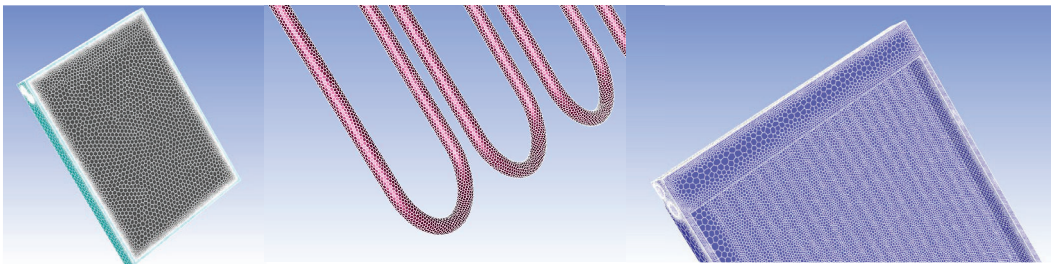


Figura 4. Mallado del colector solar, tubos y absorbedor.

Figure 4. Solar collector mesh, tubes, and absorber.

Caso dinámico

Las simulaciones dinámicas se hicieron únicamente para el caso A con el fin de apreciar mejor los saltos de temperatura que se dan en el agua a lo largo del 7 de mayo en Valencia.

En la Figura 7 se muestra el rendimiento del colector solar AIMPLAS vs colector solar ROCA (comercial).

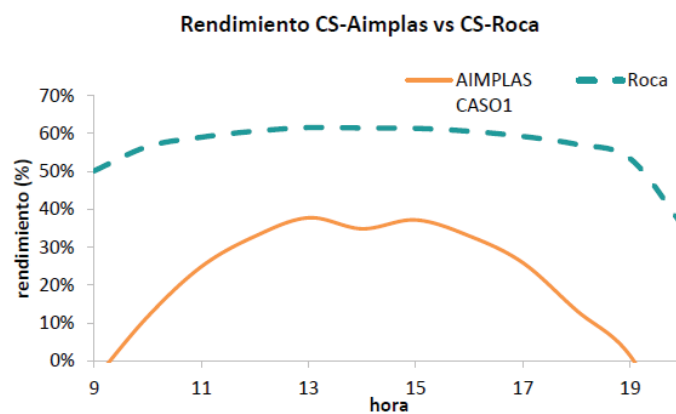


Figura 7. Rendimiento de los colectores solares ROCA y AIMPLAS.

Figure 7. Efficiency of solar collectors ROCA and AIMPLAS.

Se observa que el rendimiento del colector solar AIMPLAS es, a lo largo de todo el día, inferior al rendimiento del colector solar ROCA. Se puede concluir que hay opciones de mejorar el diseño del colector solar AIMPLAS para así mejorar el rendimiento de este.

Finally, once the curing process is complete, the specimens are allowed to cool to room temperature and unmoulded and recorded.

Characterization tests

The previously obtained specimens have been characterized by performing thermal conductivity tests. The results of these tests are collected in Table 2.

Results

Once the characterization tests have been completed, the most suitable formulation for the final application has been selected, which has finally been SS-04: R+AC2Y%. The main reason is the high thermal conductivity that it presents compared to the rest of the formulations, reaching a value of 1.72 W/mK. With this formulation, a solar collector prototype is manufactured.

Simulation

Prior to manufacturing the demonstrator to validate the results of the selected formulation, a finite element simulation was carried out to define the design of the solar collector. The objective of this study is to carry out a series of simulations using CFD to study the heating capacity of the water in the solar collector, as well as proposals for improvements in the design of the collector. The case study is the solar collector designed by AIMPLAS (Figure 3). All the simulation work has been carried out by the University of the Basque Country. Specifically, the ENEDI group (Energy in Building). The CFD program used in this study is ANSYS FLUENT.

The general dimensions of the absorber material are 630 mm x 475 mm x 75 mm, which implies a surface area of 0.3 m². For the modelling of the solar collector, it has been assumed that the panel is inclined at 45°, with south orientation.

The materials used have a significantly lower thermal conductivity than the thermal conductivity used in conventional solar collectors.

The same is observed in the collector tubes, being hotter in case A. The greater the flow, the greater the cooling capacity of the tubes. For this reason, as in case B the cooling capacity of the tubes is greater, they get less hot.

Regarding the temperature contour of the absorber, the same results are obtained in both cases, since both simulations have been carried out under the same environmental conditions (May 7th, Valencia, 2:00 p.m.). Figure 6 shows how the highest temperatures (81 °C) are obtained in the central part of the absorber, while lower temperature values are obtained in the surrounding part of the absorber. This is due to the heat losses that occur in the collector envelope towards the environment.

It should be noted that temperatures of around 81°C are being obtained in the central part of the absorber, while the water, in the best scenario, is heated up to approximately 62°C. It can be concluded that the thermal gradient between the water and the absorber is considerable, which indicates that the heat transfer between the absorber and the water is not being efficient. On the right side of Figure 6 can be seen the absorber and the tubes, to better observe how the heat transfer between both materials occurs.

Dynamic case

The dynamic simulations were made only for case A to better appreciate the temperature rise that occur in the water throughout May 7th in Valencia.

Figure 7 shows the performance of the AIMPLAS solar collector vs ROCA solar collector (commercial).

It is observed that the performance of the AIMPLAS solar collector is, throughout the day, lower than the performance of the ROCA solar collector. It can be concluded that there are options to improve the design of the AIMPLAS solar collector to improve its performance.

Los resultados obtenidos en las simulaciones dinámicas confirman la importancia de modificar el diseño del colector solar. Con estas modificaciones se mejoraría el rendimiento y, por consiguiente, el incremento de temperatura del agua. Las modificaciones necesarias serían las siguientes:

- Usar tubos de 1 único paso.
- Embeber los tubos en el material absorbedor y tener el material absorbedor aislado por el aire.
- Reducir el espesor de la cámara de aire (se ha diseñado un espesor de 40 mm, y la distancia entre ejes de tubos es aproximadamente 12 mm).

Con todos estos resultados se plantea el rediseñar el colector atendiendo a las conclusiones obtenidas en la simulación y fabricar un demostrador.

Demostrador

El demostrador consiste en un prototipo a modo de colector solar tradicional donde las tuberías, en forma de capilar, están separadas de la superficie por una lámina transparente protectora para generar efecto invernadero y aumentar la eficiencia del sistema.

Una vez fabricado el prototipo, se ha enviado a la Universidad del País Vasco, donde se han encargado de instalarlo y de validar su funcionamiento. En la Figura 8 se puede observar cómo se ha instalado el demostrador para proceder a la validación de este.

Condiciones y metodología de ensayo.

El ensayo se llevó a cabo en el mes de Junio durante 19 días. Durante este intervalo se han sucedido días despejados de gran incidencia solar y días lluviosos con gran nubosidad.

Se han determinado dos caudales operativos diferentes, para comprobar el grado de incidencia en el rendimiento del captador. El primer caudal de operación ha sido de 33 litros/hora y el segundo caudal de 51 litros/hora.

La muestra se encuentra fijada con una inclinación de 30° y una orientación a Sur perfecta.

A la hora del análisis de los datos registrados, se ha considerado que debía existir una cantidad mínima de radiación solar de 700 W/m² para poder realizar el cálculo del rendimiento del captador. De esta manera, se han desechado el resto de los datos por no llegar a cumplir esta premisa.

En la Tabla 4 se recogen los valores promedio obtenidos a lo largo de los diferentes periodos en los que se han registrado datos acerca del comportamiento energético del captador solar:

Para la caracterización del rendimiento del captador solar, se ha utilizado un método simplificado ampliamente utilizado en el sector. Dicho método, utiliza un factor denominado factor K1, que relaciona la temperatura del fluido circulante por el captador y la temperatura ambiente a una determinada radiación solar incidente. Mediante este método, se vincula la radiación incidente y la diferencia de temperaturas entre el fluido y el ambiente, parámetros clave en la variabilidad del rendimiento real.

Conclusiones

Los ensayos de validación arrojan resultados esperanzadores en la fabricación de nuevas tipologías de colectores solares fabricados enteramente con productos plásticos, mejorando la facilidad de separación y reciclaje de estos sistemas en futuro no muy lejano.

A raíz de los resultados finales obtenidos, se ha podido mejorar el rendimiento del colector de su fase inicial de diseño, donde se planteaban rendimientos del 35 %, a valores de rendimiento en torno al 50%, como los comerciales de ROCA que se encuentran entre el 50% y el 60%.

Bibliografía

Proyecto HABITATGE 2020. Este proyecto ha recibido financiación del programa Proyectos de I+D en Cooperación con Empresas (2020) con número de expediente IMDEEA/2020/70. <https://proyecto-habitatge.es/>

The results obtained in the dynamic simulations confirm the importance of modifying the design of the solar collector. These modifications would improve performance and, consequently, the increase in water temperature. The necessary modifications would be the following:

- Use 1-pass tubes.
- Embed the tubes in the absorber material and have the absorber material isolated by air.
- Reduce the thickness of the air chamber (a thickness of 40 mm has been designed, and the distance between tube axes is approximately 12 mm).

With all these results, it is proposed to redesign the collector according to the conclusions obtained in the simulation and to manufacture a demonstrator.

Demonstrator

The demonstrator consists of a prototype in the form of a traditional solar collector where the pipes, in the form of capillaries, are separated from the surface by a protective transparent sheet to generate a greenhouse effect and increase the efficiency of the system.

Once the prototype has been manufactured, it has been sent to the University of the Basque Country, where they have overseen installing it and validating its operation. Figure 8 shows how the demonstrator has been installed to proceed with its validation.



Figura 8. Instalación del demostrador para proceder a su validación.

Figure 8. Installation of the demonstrator to proceed with its validation.

Test conditions and methodology.

The test was carried out in the month of June for 19 days. During this interval there have been clear days with high solar incidence and rainy days with great cloudiness.

Two different operating flows have been determined to check the degree of incidence on the performance of the collector. The first operating flow was 33 litres/hour, and the second flow was 51 litres/hour.

The sample is fixed with an inclination of 30° and a perfect South orientation. When analysing the recorded data, it was considered that there should be a minimum amount of solar radiation of 700 W/m² to be able to calculate the performance of the collector. In this way, the rest of the data has been discarded for not fulfilling this premise.

Once the periods that do meet the established criteria of minimum incident solar radiation have been selected, the different yields obtained are related to the average ambient temperature, since it is a parameter that is directly related. The higher the average ambient temperature, the higher the apparent performance as there are fewer losses between the fluid and the environment.

Table 4 shows the average values obtained over the different periods in which data on the energy behaviour of the solar collector has been recorded.

For the characterization of the performance of the solar collector, a simplified method widely used in the sector has been used. Said method uses a factor called factor K1, which relates the temperature of the circulating fluid through the collector and the ambient temperature to a certain incident solar radiation.

Through this method, the incident radiation and the temperature difference between the fluid and the environment are linked, key parameters in the variability of the real performance.

Conclusions

The validation tests show encouraging results in the manufacture of new types of solar collectors made entirely of plastic products, improving the ease of separation and recycling of these systems in the close future.

In view of the results obtained, it has been possible to improve the performance of the collector from its initial design phase, where yields of 35% were proposed, to yield values of around 50%, such as the ROCA commercials found between 50% and 60%.

Tabla 4. Resultados de Rendimiento obtenidos en diferentes días del demostrador.

Table 4. Performance results obtained on different days of the demonstrator.

VALORES OBTENIDOS / OBTAINED VALUES							
Día Day	Caudal Flow [L/h]	T ambiente Room T [°C]	T entrada Inlet T [°C]	T salida Outlet T [°C]	$\Delta T_{ent-sal}$ $\Delta T_{inl-out}$ [°C]	Radiación Radiation [W/m ²]	Rendimiento Efficiency [%]
1	33	29,9	27,5	35,9	8,4	838,2	53,8
2	33	31,1	31,2	39,0	7,8	865,6	48,3
3	33	24,5	28,8	35,0	6,2	668,6	50,7
4	33	24,2	29,0	36,4	7,4	931,8	44,1
5	33	22,8	28,3	34,6	6,3	775,9	45,7
6	51	23,8	24,9	30,5	5,6	834,5	55,5
7	51	30,1	27,1	33,1	6,0	844,5	57,8
8	51	19,7	25,6	30,9	5,3	958,9	45,9
9	51	22,1	24,2	29,1	4,9	759,9	54,1

Bibliography

HABITATGE 2020 Project. This project has received funding from the program R&D Projects in Cooperation with Companies (2020) under the Grant Agreement number IMDEEA/2020/70. <https://proyecto-habitatge.es/>

BUILDING MATERIAL CONSIDERATIONS FOR SUSTAINABLE DWELLINGS

Avi Friedman, Ph.D.

is the co-founder of the Affordable Homes Program at the McGill School of Architecture in Montreal, Canada where he is a Professor. He also holds a Visiting Professor position in Lancaster University in the U.K. Avi is known for his housing innovation and in particular for several demonstration projects. He's the author of 25 books and principal of Avi Friedman Consultants Inc. and the recipient of numerous awards including the Manning Innovation Award, Lifetime Achievement Award from Sustainable Buildings Canada and the World Habitat Award.

Abstract

Building materials need to be carefully considered, from harvesting through the reuse or dismantling of the building. The best building materials are green building materials (Yudelso 2007). Commonly, products that use natural or local resources or recycled ingredients in place of virgin ones, recycle any waste generated by their processes, have low embodied energy, are biodegradable, have minimal derivation from petrochemicals, and are designed for reuse and recyclability are considered the most sustainable (Woolley and Kimmins 2000). Green building materials are also nontoxic, nonhazardous, energy and water efficient, durable and environmentally responsible in manufacturing, occupancy and demolition. Architects and builders have an opportunity to influence the sustainability of a manufacturing process by specifying which building materials will be used. This paper examines various building materials, illustrates how to evaluate their sustainability through a step by step process and discusses conventional materials as well as a few of the most environmentally responsible available.

Keywords:

Building materials, life-cycle assessment, raw materials, recycled materials

Introduction: Life Cycle Assessment Principles

Building materials can be classified in a number of ways. The most common categories are *naturally occurring* and *man-made*. The naturally occurring classification includes organic materials such as wood, bamboo and straw, as well as minerals and rocks, such as metal ores, stone and earth. Man-made products are derived from natural resources through physical, mechanical or chemical processing and include cement and synthetics such as plastics and paints (Sassi 2006).

Throughout the design phase, when considering materials, there are many opportunities to reduce the environmental impact of a dwelling. The selection process begins with a life-cycle assessment from their manufacturing to disposal (Keeler and Burke 2009). Main aspects to consider are climate change, fossil fuel depletion, transport, human toxicity, eco-toxicity, waste disposal and water extraction (Anderson and Howard 2000). This analysis is also referred to as a *cradle-to-grave assessment*. Currently, more environmentalists are advocating a *cradle-to-cradle* study that promotes the reuse and recycle of products instead of their disposal (Yudelson 2007). This brings the process full circle in a closed loop that conserves energy and virgin resources and minimizes waste. The process involves six major phases: acquisition of raw materials, processing and manufacturing, packaging and distribution, construction and assembly, use and occupancy and, finally, recycling or disposal, which are shown in Figure 1. One of the measurements of a material's environmental impact is *embodied energy*, which is the energy used in its production (Thomas 2005). This value, however, only takes into account energy consumption and does not evaluate other critical issues such as hazardous waste generation and health concerns.

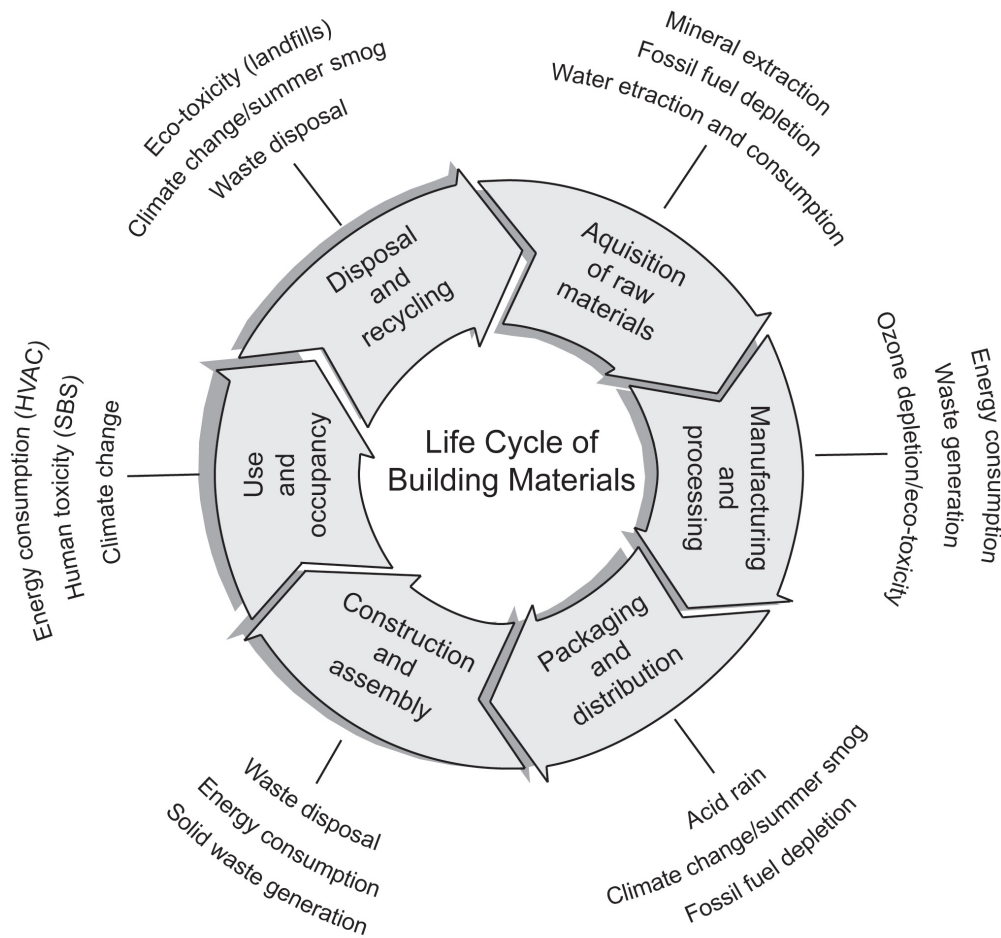


Figure 1: The life cycle of building materials and the environmental aspects associated with their production.

Resources are considered *renewable* when they can be naturally replenished and their acquisition remains sustainable, or *non-renewable*, when they are available on earth in limited and finite amounts (Calkins 2009). During *acquisition*, raw materials are mined, quarried, harvested or extracted from natural resources. The process is capable not only of depleting those resources but damaging the surrounding area.

When the acquisition process damages land, water, air and wild life habitat, careful consideration must be given to endangered species. If they are harmed, adverse changes are likely to follow with possible irreversible consequences to local and global environments. The acquisition may also produce undesirable byproducts such as contaminated solid, liquid and gaseous waste that can be toxic or hazardous. The first set of selection criteria is, therefore, to avoid depletion of natural resources by using well-managed renewable resources such as wood or ones that are considered unlimited, like earth (Hegger et al. 2006).

The *processing and manufacturing* of materials involve some degree of both energy consumption and waste generation. Byproducts, post-consumer materials and industrial scrap can be reused and recycled by incorporating them into the same manufacturing process or into new applications to save virgin raw materials (Green Building Education Services 2009).

Contaminated wastes need either to be treated prior to disposal or destroyed through incineration. A similar procedure takes place for hazardous wastes that cannot be recycled to reduce adverse affects on the environment.

Architects and builders have an opportunity to influence the sustainability of a manufacturing process by specifying which building materials will be used. Importance should be given to products that have ISO 14000/14001 environmental labels, which encourages demand for and supply of products that stress the environment the least (Green Building Education Services 2009). The next set of selection criteria for choosing environmentally responsible building materials involves those that consume less energy and minimize waste disposal by recycling or reusing waste generated at source or by manufacturers.

After the materials are manufactured, their *packaging and distribution* commence. Packaging requires additional resources while distribution consumes fuel for transportation. Inefficient or unsustainable packaging and distribution of a material can compromise its overall sustainability. When packaging, it is necessary to use recycled, biodegradable or post-consumer materials since it commonly accounts for a large portion of construction waste which later clutters landfills. When these packaging products are recyclable, their negative attributes are reduced. Likewise, a green building material that is properly packaged becomes unsustainable if it needs to travel a long distance. Desired products will be those that are manufactured, distributed and used locally (Halliday 2008).

During *construction and assembly*, one or more products maybe combined physically or chemically to create the final building material. It is important, however, to avoid permanently binding recyclable materials to non-recyclable ones so they could be recovered with ease at the end of their useful life. Sustainable construction and assembly is mindful of the future when these materials will need to be dismantled for reuse or recycling (Baker-Laporte et al. 2001).

Use and occupancy also affects the environment since most materials will require at least some maintenance at this life stage. When an untreated component made of natural renewable resources requires the use of hazardous and harmful maintenance products to stay useful and acceptable in appearance, its sustainability will be greatly reduced. If the material is not durable, it will not only require ample attention but also frequent replacement, which may produce more waste. Generally, when a material has only one half or a third of the useful life of an alternative one, it may lose any environmental significance it may otherwise had. To accurately compare materials to determine the most durable alternative, one must consider embodied energy, waste generation, resource depletion and effects on the eco-system. Therefore, the next selection criteria involves choosing products with longevity and durability that require little maintenance or replacement over their lifetime (Keeler and Burke 2009).

The life cycle of a material does not end after its use. During the final stage of *recycling* or *disposal*, a material can either be reintroduced back into the life cycle loop, or it can be responsibly disposed of through composting or incineration. It allows the retrieval of some of the material's original embodied energy. After a dwelling has served its useful life, it may be partially or fully demolished. Some products can be salvaged, refurbished and reused for similar applications or recycled as raw materials to be turned into other components. Ideally, materials and assembled products, such as windows and doors, can be dismantled so they may be reused with minimal processing. If reuse is not possible, then recycling it back into an equivalent material or product is the next option, but requires significantly more reprocessing. Downcycling is reprocessing a material into a lower grade form, which still is useful because it economizes virgin materials. These processes can be repeated several times before a material is

finally retired to a landfill or incinerated (Sassi 2006). However, building materials that have no useful purpose in the post-consumer phase need to be disposed of in landfills or incinerated. Materials which have no post-consumer value should be avoided. Through the careful selection of materials, non-recyclable and non-reusable ones can be substituted by sustainable alternatives.

For recyclable and reusable building materials to be environmentally advantageous, there needs to be a collection program initiated by industry or government, and more importantly, a market demand. Otherwise, even when a collection program is in place, materials can still find their way to landfills if no one is using them. This means it is not sustainable to build with virgin materials that have the potential to be recycled. It is more sustainable to begin with recycled and reused materials from the outset.

Cradle-to-Grave Assessment of Common Building Materials

The understanding of the cradle-to-grave process is further developed below through the evaluation of several materials used in residential construction, including concrete, metal, wood, sealants, flooring, paints and thermal insulation. The environmental considerations, which include resource depletion, waste generation, energy consumption and eco-system effects, for each will be examined at every life cycle stage. Emissions from materials during use and their effects on occupant health have been omitted from this section since they will be dealt with separately below.

Concrete

Concrete is formed from a mixture of water, sand and gravel solidified together by a binding agent called cement (Cement Association of Canada 2010). The acquisition of raw materials for the production of concrete is very energy- and resource-intensive. It requires extensive mining and quarrying for crushed rock, sand, limestone, clay and coal as illustrated in Figure 2.

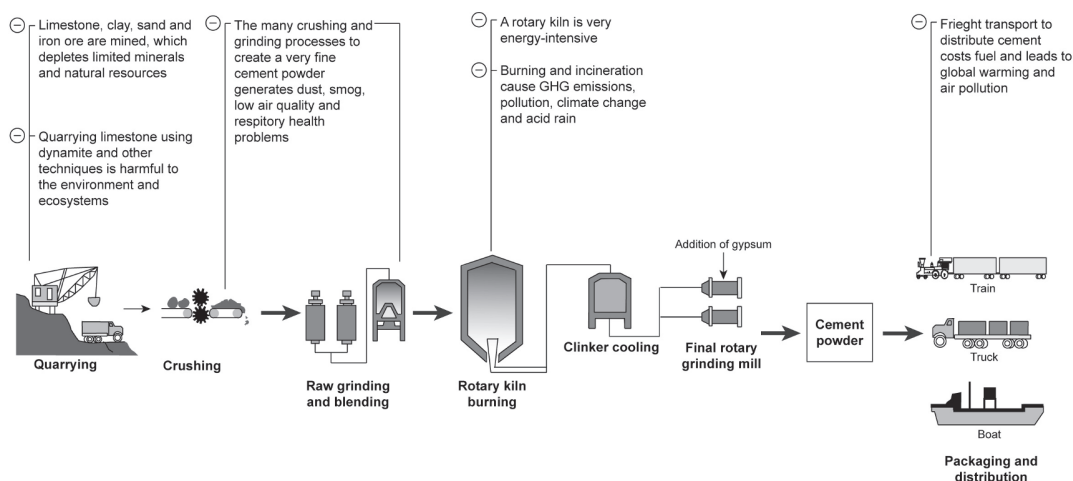


Figure 2: Environmental effects of cement manufacturing.

The acquisition of these materials can lead to a number of adverse effects. Mining can cause deforestation, top soil loss and erosion. Also, water runoff from mining operations can

spill into fresh water and harm local flora and fauna (Mehta 2001). The processing and manufacturing stage contributes to improper disposal of rinse water used for the fabrication of concrete components. Furthermore, dust emissions, carbon dioxide, sulphur dioxide and partially combusted organic materials can also reduce air quality when they are emitted from the combustion of coal or natural gas, which occurs in high-temperature kilns used for making cement (Allen 2004). Besides the production of concrete, other stages such as batching, mixing, transport, placement, consolidation and finishing also require considerable energy. On the other hand, although the packaging for concrete is minimal, its distribution requires large trucks to either mix and transport liquid concrete, or deliver large prefabricated components. Both methods create additional dust and carbon dioxide emissions. After concrete is assembled and constructed, it is a durable, fire-resistant and stable material throughout its occupancy and use, causing minimal adverse impact. During its final life stage, the waste generated from its demolition may be minimized if the concrete can be crushed and downcycled as aggregate into new batches of concrete. Another environmental benefit of concrete is that it can be entirely recycled and reused as aggregate in roadbeds or as a granular material (Cement Association of Canada 2010).

Additionally, using fly ash in the manufacturing of concrete, whose production is illustrated in Figure 3, can reduce its environmental impact (Kentucky Geological Survey 2006). This byproduct generated from coal-fired plants can be used as a supplementary cement material (SCM) to replace a portion of virgin cement in the concrete mixture reducing its associated mining impacts. Using fly ash also increases the structural properties of concrete, making it stronger, less permeable, more durable and more resistant to chemical attack (Headwaters Resources 2008).

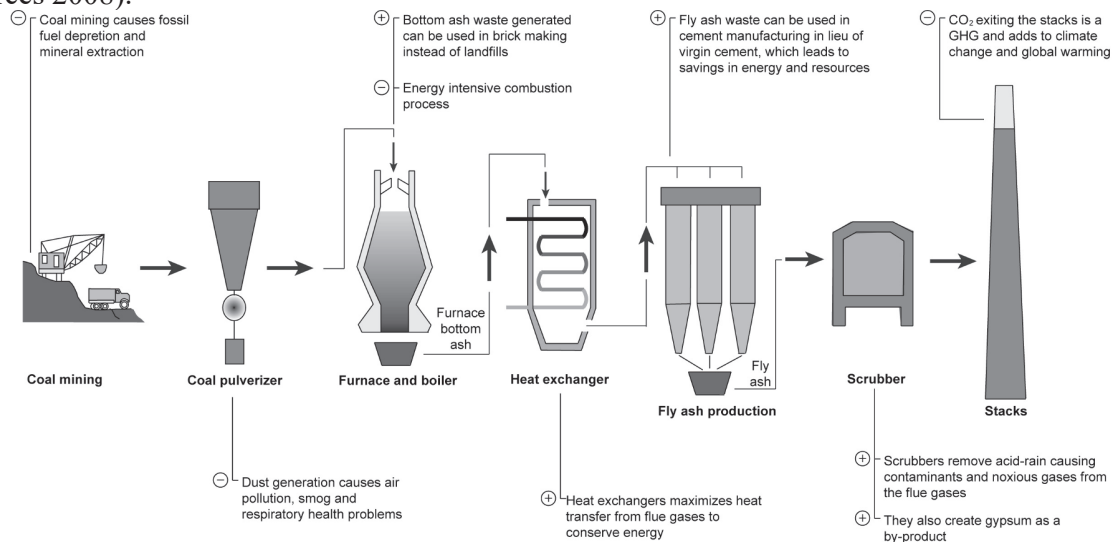


Figure 3: Fly ash, a by-product of coal-fueled electric power generation used in concrete production.

Metals

Aluminum is a highly workable, lightweight, durable and strong metal that, depending on its finish, requires little maintenance. Its acquisition involves mining for bauxite ore, a finite

resource that comprises roughly eight percent of the earth's crust (Calkins 2009). High-grade bauxite deposits can only be found in tropical and subtropical countries such as Australia, Jamaica and Brazil. Extracting the raw material necessitates a process called *strip mining* where large tracts of land are cleared of trees and soil so the bauxite layer can be harvested (International Aluminum Institute 2008). The bauxite is used to produce alumina, a fine white powder that is then processed to manufacture aluminum.

To minimize the negative environmental effects of the mining process, the soil that was removed is replaced and vegetation is generally replanted, depending on the country's reclamation laws, which aim to reduce long-term eco-system damage. Even so, some tropical forests and species can be lost.

Large quantities of waste are often generated during the processing and manufacturing of aluminum. Its production causes emissions of sulphur dioxides and nitrous oxides, which contribute to global warming, acid rain and smog; toxic emissions of fluoride and carbon monoxide discharges of heavy metals into sewers; the contamination of land with fluoride and carbon sludge; and the contamination of water with fluorine and hydrocarbons (Fernandez 2006). Fortunately, the disposal of these wastes is strictly regulated and most of it can be recovered or treated, which reduces its adverse affects on the environment (Figure 4).

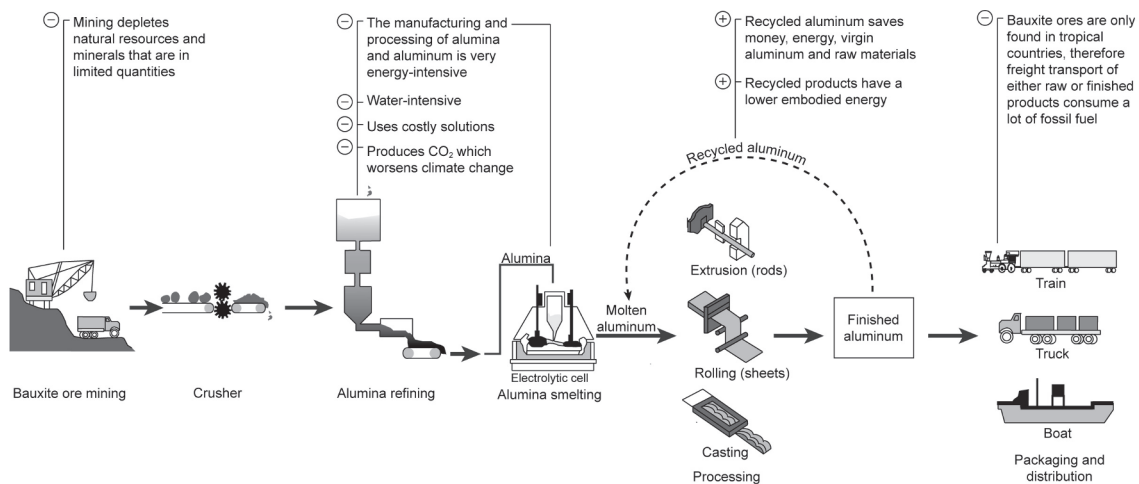


Figure 4: The environmental ramifications of aluminum production.

During the manufacturing of aluminum, the smelting process also generates airborne emissions, which are either treated or destroyed. Unfortunately, a small amount of carcinogenic hydrocarbons will inevitably escape incineration. Large quantities of water are also required to process aluminum, most of which is treated and recycled afterwards. The heavy metal slag and large amounts of wastewater, produced from the fabrication and finishing process, are treated and disposed of at controlled disposal sites. The least harmful of the finishing processes, and therefore the most environmentally preferable, are anodizing and powdered paint coating. Another drawback of aluminum is the amount of energy required for manufacturing, accounting for 1.4 percent of the global energy consumption annually (Bauer and Siddhaye 2006). The distribution process of aluminum also consumes a large amount of fuel since all of its high-grade bauxite ore deposits are commonly transported great distances to their place of manufacturing and use. The construction and assembly of aluminum is very advantageous due to its light

weight and strength. Furthermore, it requires little maintenance due to its durability. Nevertheless, while its use and occupancy is very sustainable, its demolition is not.

To reduce the negative environmental effects of aluminum, architectural details should avoid mixed-material assemblies to facilitate recycling. Recovery systems in the building industry should also be established. To lower energy consumption during manufacturing, recycled aluminum can be used in production rather than bauxite ore.

Steel is an alloy made of iron and carbon. Like aluminum, it is also strong, durable and workable. Steel, however, corrodes and requires more maintenance and more frequent replacement than aluminum. During the acquisition of raw materials for steel, mining of iron ore is needed, which, when not regulated, may result in mineral depletion and damage to land and wildlife habitat. Concerns for water quality also arise from its disposal methods from milling operations which are shown in Figure 5. Steel is manufactured by integrated smelting processes involving blast furnace iron-making followed by basic oxygen furnace and electric arc furnaces. These processes generate air-polluting combustion emissions. While these pollutants have been reduced significantly over the last decade, the remaining amount is still enough to harm the environment.

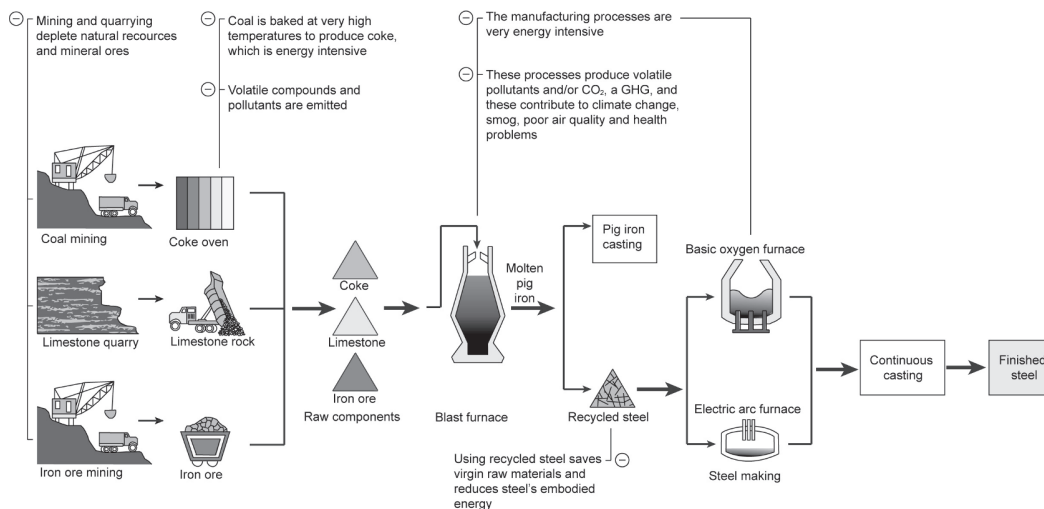


Figure 5: Environmental ramifications of steel processing and manufacturing.

The distribution of steel is slightly less environmentally damaging compared to aluminum since iron can be found around the world, rather than in a few countries like bauxite ore, and therefore its distribution does not need to travel as far. Construction and assembly is highly efficient, taking advantage of prefabricated methods. As for its disposal and recycling, steel is one of the most recyclable materials available since it can be easily separated from the waste stream magnetically and then processed into a high-quality alloy. Not only does this save a substantial amount of energy and raw materials, it also reduces the environmental damage (Fernandez 2006).

To increase its sustainability, recycled steel should be used in place of raw materials. According to the Canadian Sheet Steel Building Institute (2008), every ton of steel recycled

saves 2,500 lb. (1,150 kg) of virgin iron ore, 1,400 lb. (635 kg) of coal and 120 lb. (55 kg) of limestone. Methods to manage emissions from the manufacturing processes need to be further developed to minimize air pollution.

Wood

The advantage of *wood* is its renewable and biodegradable characteristics. It also counteracts global warming effects by transferring carbon dioxide into oxygen and chlorophyll with the sun's energy through photosynthesis. The main environmental concern regarding wood is over-harvesting during acquisition. It is a serious concern because, if unchecked, can deplete this resource to extinction. Several North American management practices, however, have been put in place to ensure forests are restored to their original state. The Forest Stewardship Council (FSC) is an international, non-profit organization that assures wood products come from sustainable managed forests. Unfortunately, sustainable practices are not in place internationally and especially for more exotic imported woods, such as mahogany, ebony, zebrawood and rosewood, potentially endangering their forests and species (Baker-Laporte et al. 2001). The manufacturing and processing of wood, where sustainable management practices are used, requires minimal energy input and does not generate excessive waste, since the log only needs to be cut into dimensional lumber. In addition, the waste can be recycled into wood chips for composite products, incinerated for energy generation, or ground up and used as compost as illustrated in Figure 6.

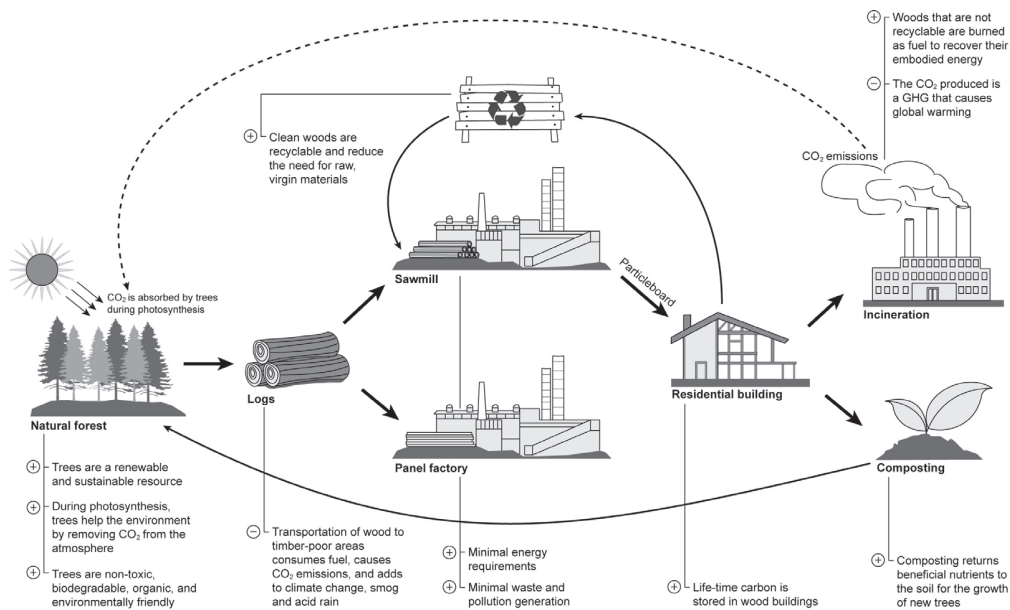


Figure 6: Environmental ramifications of wood's harvesting, processing and use.

When sustainable management is not practiced, waste generation becomes a major concern. It is important, therefore, for the protection of the environment to select lumber from certified and well-managed sources and to ensure endangered species are not harvested. The

effects of packaging and distribution of wood also varies from source to source. If it is purchased from local sources, transportation and packaging is kept to a minimum and so is its environmental impact.

The use of wood during construction requires minimal energy input since it is relatively light and very easy to handle. The standardization and modularity of dimensional lumber greatly aids this process. When wood is treated properly, it can last far beyond the useful life of a dwelling and requires little maintenance. The demolition and renovation of structures made of wood, however, is sometimes a concern. While much of the wood debris can be recycled and reused, more often than not they find their way into landfills. Fortunately, wood is highly biodegradable and will do so in the landfill (Hegger et al. 2006).

Thermal Insulation

The environmental impact of thermal insulation varies significantly according to their type. Thermal insulation can be broadly divided into four groups: fiber glass, mineral wool, cellulose and foam, shown in Figure 7. Of the four, cellulose insulation appears to be the most environmentally-sound alternative since it is made of recycled paper.

Type of insulation	Cellulose	Fiberglass	Mineral wool	Cotton	Spray polyurethane foam (SPF)
Raw materials	<ul style="list-style-type: none"> • Recycled newsprint • Boric acid • Natural additives 	<ul style="list-style-type: none"> • Fibrous glass wool • Cured binder 	<ul style="list-style-type: none"> • Basalt rock • Slag 	<ul style="list-style-type: none"> • Natural denim • Cotton fibers 	<ul style="list-style-type: none"> • Recycled plastic • Soya
Recycled content	<ul style="list-style-type: none"> • Post-consumer recycled newspaper 	<ul style="list-style-type: none"> • Post-consumer recycled glass 	<ul style="list-style-type: none"> • Recycled Slag (by-product of steel production) 	<ul style="list-style-type: none"> • Post-industrial recycled denim • Cotton 	<ul style="list-style-type: none"> • Post-consumer recycled plastic

Figure 7: Composition of insulation products made of recycled materials.

Manufacturers of insulation save energy by providing a variety of products in which recycled materials such as glass, plastic, cotton or newspapers are being used. Each product offers different advantages, and their effectiveness depends on the type of application, building and method of installation.

Fiberglass and *mineral wool* both require mining for raw materials, which may affect land, water and air quality. Fiberglass, for example, requires the acquisition of sand, limestone for calcium and magnesium, and borax for boron, while mineral wool requires either diabase and basalt rock or slag from an iron ore blast furnace. Manufacturing and processing of fiberglass and mineral wool also emits small amounts of toxic gases, particulates and volatile organic compounds (VOCs) (Hegger et al. 2006). These emissions are usually treated prior to their release but are still a concern. Most of the solid waste produced is recycled back into the process. Packaging and distribution of fiberglass and mineral wool is similar to all other types of insulation, with a need to minimize the distance between the source and the building site. Fiberglass and mineral wool come in a variety of forms including batt, board, blanket and loose fill (Jones 2008). Applications of fiberglass and mineral wool does not require a great energy input. The finished product, however, contains fibers which may be carcinogenic and can

compromise air quality if not adequately contained. During demolition and renovation both fiberglass and mineral wool can be recycled or reused.

Cellulose insulation is made from recycled newsprint and therefore does not consume a lot of energy during the acquisition of raw materials. According to the Cellulose Insulation Manufacturers Association (2010), it can be made from up to 85 percent recycled material. During its manufacturing and processing, the recycled newsprint is reduced to fiber form in mechanical mills and then treated for fire resistance. This does not generate any significant waste and does not consume much energy. The distribution of cellulose insulation is most efficient when local sources are selected, reducing travel distances, fuel consumption and greenhouse gas emissions. Since cellulose insulation is a loose fill, its use requires more energy than fiberglass and mineral wool. The demolition and renovation of cellulose insulation generates waste since it is hard to recycle. After its use, it does not have the same properties as virgin materials, due to natural degradation and contamination, and therefore cannot be recycled.

Foam insulation can be polyurethane, polyisocyanurate, extruded or expanded polystyrene or phenolic. The first two are available as boards, and the latter two are either boards or foamed in place. Phenolic foam is produced from benzene, which is derived from crude oil and olefins, which are extracted from natural gas. Polyurethane, polyisocyanurate and extruded or expanded polystyrene are produced from pure, by-product or waste stream petrochemicals and their derivatives (DOI) (Kwok and Grondzik 2007).

During the manufacturing and processing stage, all foam insulation types, other than expanded polystyrene, use ozone-depleting chlorofluorocarbons (CFCs) as blowing agents. Expanded polystyrene is blown with pentane gas, which is not ozone-depleting but still contributes to ground level smog. Unfortunately, the manufacturing process for foam insulation is extremely damaging to the environment. The chlorofluorocarbons are slowly being replaced with alternative blowing agents. They are, however, not all commercially available, particularly for polyisocyanurate and phenolic foams. The use of foam insulation consumes minimal energy and produces little waste. The demolition of a structure with foam insulation, on the other hand, produces a great deal of waste. Although polystyrene, a thermoplastic, can be heated and remolded into a new product and polyurethane and phenol can be recycled as filler, recycled foam insulation cannot compare to its virgin materials when they are recycled due to natural degradation and contamination (Fernandez 2006). For this reason, a great portion of discarded foam insulation is landfilled. Certain materials, however, can be recycled for use in other industries. For example, excess expanded polystyrene (EPS) from construction sites is melted down to make plastic as a raw material for the manufacturing of other products such as laptops and cell phones (Garcia 2009).

Sealants

There are numerous sealant types with varying compositions suited for specific applications. This makes it difficult to acquire detailed data on energy consumption, waste generation and resource depletion. As plastic resins, however, sealants deplete natural resources and consume energy during raw material acquisition. The processing and manufacturing of sealants also consumes energy and generates waste. On the positive side, the waste generated is often reworked into batches of defective product, rather than disposed of (Adhesives 2010).

The construction and assembly of sealants does not consume a lot of energy. Sealants are generally not recyclable or reusable after they have served their useful life, and must be disposed of. Since most sealants are chemically based, several strict regulations apply to the disposal of sealant waste. Furthermore, sealants are considered materials that can potentially off gas

contaminants indoors and, therefore, it is important to use low VOC and low toxicity water-based formulations (US EPA 1997). Third party standards, such as South Coast Air Quality Management District (SCAQMD) and Green Seal, promote the use of products that reduce the quantity of indoor air contaminants that are harmful not only to installers but also to occupants.

Flooring

Linoleum is a popular floor covering made from natural, biodegradable materials, which are primarily derived from linseed oil, resin and cork powder, all of which are renewable resources (Hegger et al. 2006). During manufacturing and processing, any scrap linoleum produced can be recovered and reused. Its packaging and distribution is its largest drawback, since it is often imported and travels long distances. Its construction and assembly does not require a large amount of energy since linoleum is produced in sheets or tiles, for easy assembly. Linoleum is also very durable, greaseproof, waterproof and fire-resistant, making it a great product in terms of use and occupancy (Hardwood Floors 2006). Following demolition or renovation, however, linoleum cannot be recycled, yet can, fortunately, be safely disposed of in landfills where it will decompose.

The main ingredient of *vinyl flooring* is polyvinyl chloride (PVC). Vinyl flooring is a popular alternative to linoleum since it is cost effective, durable, free of harmful maintenance products and produced in most regions. Vinyl, however, adversely affects the environment at every stage of its lifecycle, making any waste generated during the manufacturing process highly toxic (Calkins 2009). Solid, liquid and gaseous wastes generated during the fabrication of vinyl products are all managed by strict disposal regulations. Fortunately, most of the waste generated during manufacturing and processing can be recycled or incinerated. Their packaging and distribution depend largely on the distance between the source and the final destination, while the construction and assembly consume minimal energy. At demolition and renovation there are very few collection or recovery systems in operation for vinyl flooring. Therefore, the recyclable material is, unfortunately, often disposed of.

There are natural and synthetic carpet fibers. The most common are made from petrochemical products (e.g. nylon, olefin and polyester) while natural ones are made of wool (Hegger et al. 2006). Because some manufacturers make extensive use of recycled plastic containers in the fabrication of synthetic carpets, the environmental impact from the acquisition of raw materials differs between each manufacture. Two environmental concerns from carpets arise during the manufacturing and processing stage. Styrene Butadiene (SB) latex is often used in carpets, cushions and adhesives. During the production of SB latex, toxic waste materials are generated, such as air pollutants, which can become a public health hazard for surrounding communities (ACME DIY 2010). Also, the fiber-dyeing process for carpets consumes large amounts of water. In addition to excessive water consumption, the carpet dyes contaminate the waste water and can threaten water quality when disposed.

The packaging and distribution of carpets also depends on its recycled content and travel distance. During use, the main environmental concern is not the carpet itself but the cushion foams which may be used under it. Its durability during use and occupancy varies depending on the type of fiber used. Therefore, carpets must be carefully selected based on low emissions and qualities that reduce long term maintenance and waste (ACME DIY 2010). Green Label and Green Label Plus are programs that set VOC limits for carpet and carpet cushions respectively. Both programs ensure products meet the most stringent criteria for low chemical emissions (Carpet and Rug Institute 2009).

Green Products

As noted above, to minimize a building material's adverse effects on the environment, its impact must first be understood and evaluated at every stage of its life cycle. The best materials are those referred to as *green building materials* (Yudelson 2007). Commonly, products which use natural local resources or recycled ingredients in place of virgin ones, recycle any waste generated by its processes, have low embodied energy, are biodegradable, have minimal derivation from petrochemicals and are designed for reuse and recyclability are considered the most sustainable (Wooley and Kimmins 2000). They are also nontoxic, nonhazardous, recyclable or reusable, locally obtained, energy and water efficient, durable environmentally responsible in manufacturing, occupancy and demolition. Some green building products are presented below.

Insulated Concrete Forms (ICFs)

Insulated Concrete Forms (ICFs) are forms that are left in place after the concrete is poured for a foundation or wall (Portland Cement Association (PCA) 2009). The forms are generally made of foam insulation, such as expanded polystyrene (EPS), and are filled with reinforced concrete to create a solid structure. The sustainable benefits from ICF systems can be summarized in five points: optimized energy performance, durability, recycled material content, local materials and improved indoor air quality (Insulating Concrete Form Association (ICFA) 2008). The energy efficiency is due to both the thermal mass of concrete that helps absorb and release heat slowly and the air tightness and continuous insulation of the system. Other benefits provided by the solid structure include sound insulation, resistance to fire, pests, storms and high winds.

Structural Insulated Panels (SIPs)

Structural Insulated Panels (SIPs) are panels with a core of rigid foam insulation between an exterior and interior skin. Panels are custom designed, prefabricated and assembled on site, which reduce waste, construction time and labor costs (Structural Insulated Panel Association 2009). Their solid structure allows air tightness with high thermal insulation and minimum levels of air infiltration. In addition, this integrated system uses less wood than a conventional wood frame house.

Engineered Wood

Cladding materials and joists should be durable and long-lasting to reduce replacement or maintenance costs. A sustainable alternative to the traditional wood siding or joists, which was touched upon above, is *engineered wood*, which is made of wood fibers combined with bonding agents that create a composite lightweight product with superior strength (Khatib 2009; Hegger et al. 2006). Use of engineered boards for flooring and roof sheathing instead of common plywood can lead to savings in embodied energy.

Roofing

Roofing materials receive the most direct exposure to wind, sun and snow. Therefore, weight, heat capacity, fire rating, durability, maintainability and ease of installation need to be considered (Hegger et al. 2006). For instance, longer-lasting heavier materials may require stronger support for the extra weight. Lighter colors are advantageous in hot climates since they

reflect heat and reduce the *urban heat island effect*. Various new types of shingles can also have a reduced embodied energy.

Conclusion

Though a variety of sustainable and environmentally-conscious building materials exist on the market today, they are not always selected for new construction projects. This may be due to differences in price, or lack of awareness of newer products. The use of the products listed above needs to become part of every construction process of environmentally responsible dwellings. This can be encouraged by architects and designers, who have the opportunity to make buildings more sustainable by specifying the use of such products. Adopting sustainable construction practices and choosing more responsible building materials are small and manageable endeavours, but they can have great impact. If awareness spreads and more homeowners opt for sustainable choices, the impact over time will be significant.

References

- ACME DIY.com. 2010. *Carpet, Indoor Air Quality and Your Health*. Flooring. Acme Parts.com. <http://www.acmediy.com/flooring/carpet-health.php>.
- Adhesives and Sealants Council. 2010. *Work, Health and Environmental Protection When Using Adhesives and Sealants*. Health and Safety. Adgesives.org. <http://www.adhesives.org/HealthSafety.aspx>.
- Allen, E. 2004. *Fundamentals of Building Construction: Materials and Methods*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Anderson, J. and N. Howard. 2000. *The Green Guide to Housing Specification: An Environmental Profiling System for Building Materials and Components Used in Housing*. Watford, UK: BRE Press.
- Baker-Laporte, P., E. Elliot, and J. Banta. 2001. *Prescriptions for a Healthy House: A Practical Guide for Architects, Builders and Homeowners*. Gabriola Island, BC, Canada: New Society Publishers.
- Bauer, D. and S. Siddhaye. 2006. *EBM Roadmap Summary*. http://www.wtec.org/loyola/ebm/usws/ind_summary.htm.
- Calkins, M. 2009. *Materials for Sustainable Sites: A Complete Guide to the Evaluation, Selection, and Use of Sustainable Construction Materials*. Hoboken, NJ: Wiley.
- CAC (Cement Association of Canada). 2010. *Cement Manufacturing*. <http://www.cement.ca/>.
- CIMA (Cellulose Insulation Manufacturers Association). 2010. *The Greenest of the Green*. <http://www.cellulose.org/CIMA/GreenestOfTheGreen.php>.
- CRI (Carpet and Rug Institute). 2009. *The CRI 2009. Residential Customers*. <http://www.carpet-rug.org/>.
- CSSBI (Canadian Sheet Steel Building Institute). 2008. *Environmental Fact Sheet: Steel and the Green Movement*. <http://www.cssbi.ca/Eng/features/green.shtml>.
- Fernandez, J. 2006. *Material Architecture: Emergent Materials for Innovative Buildings and Ecological Considerations*. Amsterdam: Elsevier.
- Garcia, M. 2009. "Building Products Made of Recycled Materials in the North American Home

- Building Industry.” Unpublished Master’s Report, McGill University.
- GBES (Green Building Education Services). 2009. *LEED Green Associate Study Guide*. Lewisville, TX: Green Building Education Services.
- Halliday, S. 2008. *Sustainable Construction*. Amsterdam: Elsevier Architectural Press.
- Hardwood Floors. 2006. *Linoleum Advantages and Disadvantages*. Buying Flooring. Hardwood Floors. <http://www.yourhardwoodfloor.com/buying/linoleum.html>.
- Headwaters Resources. 2008. *Fly Ash for Concrete*. Resource Library. http://www.flyash.com/data/upimages/press/hwr_brochure_flyash.pdf.
- Hegger, M., et al. 2006. *Construction Materials Manual*. Boston: Birkhauser.
- IAI (International Aluminum Institute). 2008. *Fourth Sustainable Bauxite Mining Report*. <http://www.world-aluminium.org/cache/fl0000292.pdf>.
- ICFA (Insulating Concrete Form Association). 2008. *Building with ICFs: About Insulated Concrete Forms*. <http://www.forms.org/index.cfm/buildingicf>.
- Jones, L. 2008. *Environmentally Responsible Design: Green and Sustainable Design for Interior Designers*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Keeler, M. and B. Burke. 2009. *Fundamentals of Integrated Design for Sustainable Building*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- KGS (Kentucky Geological Survey). 2006. *Uses of Coal*. University of Kentucky. http://www.uky.edu/KGS/coal/uses_of_coal.htm.
- Khatib, J. 2009. *Sustainability of Construction Materials*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing.
- Kwok, A. G. and W. T. Grondzik. 2007. *The Green Studio Handbook: Environmental Strategies for Schematic Design*. Amsterdam: Elsevier Architectural Press.
- Mehta, K. 2001. *Reducing the Environmental Impact of Concrete: Concrete Can Be Durable and Environmentally Friendly*. Farmington Hills, MI: Concrete International.
- PCA (Portland Cement Association). 2009. *Sustainable Development with Concrete*. <http://www.concretethinker.com/Benefits.aspx>.
- Sassi, P. 2006. *Strategies for Sustainable Architecture*. New York: Taylor and Francis.
- SIPA (Structural Insulated Panel Association). 2009. *Green Building with SIPs*. <http://www.sips.org/elements/uploads/fckeditor/file/SIPs%20> (site discontinued).
- Thomas, R., ed. 2005. *Sustainable Urban Design: An Environmental Approach*. London: Spon Press.
- US EPA (Environment Protection Agency). 1997. “Chapter 6: Waste Generation.” *Municipal Solid Waste Factbook*. <http://www.p2pays.org/ref%5C03/02064/factbook/gen.htm#2>.
- Woolley, T. and S. Kimmins. 2000. *Green Building Handbook*. Vol. 2. New York: Spon Press.
- Yudelson, J. 2007. *Green Building A to Z: Understanding the Language of Green Building*. Gabriola Island, BC: New Society Publishers.

CHAPTER 3

HERITAGE

CAPÍTULO 3 PATRIMONIO

TORRES TRANSFORMADORAS DE ELECTRICIDAD EN LA PROVINCIA DE VALENCIA. UN PATRIMONIO EN EL OLVIDO

ELECTRICITY TRANSFORMER TOWERS IN THE PROVINCE OF VALENCIA. AN HERITAGE IN THE OBLIVION

Guardiola-Víllora, Arianna

*Investigadora en el Dpto. de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructura (MMCyTE)s. Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSA). Universitat Politècnica de València (UPV). Profesora titular de Universidad del dpto. de MMCyTE. Arquitecta por la ETSA de la UPV, especialidad edificación y urbanismo. Doctora en Arquitectura por la UPV. E-mail: aguardio@mes.upv.es
Researcher at the Dept. of Continuum Mechanics and Theory of Structures (CMM&TE). School of Architecture (SA). Universitat Politècnica de València (UPV). Professor at the dept of CMM&TS, Architect by the SA of the UPV, speciality of building engineering and urbanism. Phd Architecture by the UPV. E-mail: aguardio@mes.upv.es*

Basset-Salom, Luisa

*Investigadora en el Dpto. de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructura (MMCyTE)s. Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSA). Universitat Politècnica de València (UPV). Profesora titular de Universidad del dpto. de MMCyTE. Arquitecta por la ETSA de la UPV, especialidad edificación y urbanismo. Doctora en Arquitectura por la UPV. E-mail: LBASSET@mes.upv.es
Researcher at the Dept. of Continuum Mechanics and Theory of Structures (CMM&TE). School of Architecture (SA). Universitat Politècnica de València (UPV). Professor at the dept of CMM&TS, Architect by the SA of the UPV, speciality of building engineering and urbanism. Phd Architecture by the UPV. E-mail: LBASSET@mes.upv.es*

Abstract

The old electricity transformer towers are small buildings built in the late 19th and early 20th centuries, along roads or in urban areas that were starting to develop, to house electrical transformers. Despite having been conceived as constructions for purely industrial use, some of these buildings have certain characteristics in their design and construction that show that the authors of the projects intended to give them a certain architectural quality (roof design, facade composition, tile coverings, etc.).

The existing documentation on these electricity transformer stations is quite scarce, some of them are not even listed in the cadastral database. Even though many electrical towers are still in use, the fact that they are not listed or protected makes them prone to be vandalised or covered with graffiti, accelerating their deterioration.

In this study, a small sample of these electricity transformer towers in the province of Valencia is analysed and georeferenced. Likewise, a data form is proposed, with the aim of promoting the creation of a catalogue or database of these towers, essential components for the distribution of electrical energy, which, together with other constructions, such as electricity producing stations, make up an extensive network of industrial elements with great historical and patrimonial value that must be preserved.

Keywords

Electricity transformer towers, Volta, Electra Valenciana, Hidrola, Valencian industrial heritage.

Introducción

A finales del siglo XIX se inicia el desarrollo de la producción de energía eléctrica a pequeña escala en los núcleos urbanos españoles. En los inicios, la configuración de la red consistía en un generador de corriente continua de baja tensión movido por una máquina de vapor o una rueda hidráulica que alimentaba el alumbrado público próximo al punto de generación. Estas instalaciones de corriente continua tenían un problema en el transporte de la electricidad, debido a las pérdidas por calor en los tendidos eléctricos [1].

Entre 1884 y 1885 la compañía húngara de producción electrotécnica Ganz & Cia [2] construye el primer transformador de corriente alterna. Este avance fue fundamental para el desarrollo y expansión de las líneas de transporte de energía eléctrica a larga distancia, pues permitía elevar la tensión en la red con el objetivo de minimizar las pérdidas en el transporte, reduciéndola al llegar a los puntos de consumo [1]. Albergado en unas pequeñas edificaciones o torres, el transformador entraría a formar parte del paisaje urbano a finales del siglo XIX y principios del XX, primero de las grandes ciudades y, más tarde, de las poblaciones más pequeñas. Posteriormente, entre 1907 y 1913, se empezó a abastecer a las principales ciudades españolas, transportando la energía eléctrica producida en centrales hidroeléctricas con potencias instaladas de unos 5000 kW, a través del sistema de transporte eléctrico, compuesto, principalmente, de líneas de transporte y subestaciones [3].

La red eléctrica funciona con diferentes niveles de tensión. El transporte de la electricidad a grandes distancias se realiza siempre en alta tensión con el fin de contrarrestar las posibles pérdidas de energía en las líneas de transmisión. Por el contrario, por razones de seguridad para los usuarios, el suministro se realiza a baja tensión. La energía se transforma, inicialmente, de alta a media en las subestaciones eléctricas y finalmente de media a baja en los centros de transformación situados próximos a los puntos de distribución.

La primera compañía eléctrica valenciana fue la *Sociedad Española de Electricidad*, constituida en 1883, seguida por la creación de numerosas empresas, sociedades y cooperativas que optaron a las concesiones de los distintos saltos eléctricos, compitiendo entre ellas en la generación y suministro del fluido eléctrico.

En mayo de 1907 se funda la sociedad *Hidroeléctrica Española*, también conocida por su contracción *Hidro* o por sus siglas HE, con el objetivo de construir una presa en el río Júcar para producir energía eléctrica con la que abastecer Madrid y Valencia [4]. En 1908, HE consigue el contrato para el alumbrado público eléctrico del ayuntamiento de Valencia y, con ese fin, crea, en 1910, la distribuidora *Electra Valenciana*. [5].

Por otro lado, en 1913 nace la compañía Volta, cuya principal estrategia fue la adquisición e integración de negocios de producción y distribución de energía eléctrica para expandir el mercado. En 1957, *Electra Valenciana* es incorporada a *Volta* y, en 1960, se lleva a cabo una fusión-absorción de Volta por HE. En el mercado valenciano, HE tenía una posición dominante en lo que se refiere a producción, pero no en la distribución, por lo que a partir de 1927 adquiere un tercio de las acciones de *Volta*, una empresa cuya red de distribución ocupaba la mayor parte de la provincia de Valencia exceptuando la capital. A pesar de la dura competencia, HE había logrado en vísperas de la guerra civil, hacerse con el 70% de la producción de electricidad de la Comunidad Valenciana, y junto a sus distribuidoras atendía las necesidades del 50% de los abonados. [5].

En 1991, se produce la fusión de las tres sociedades fundadoras de Iberdrola (*Hidroeléctrica Ibérica, Hidroeléctrica Española e Iberduero*) [4].

Introduction

At the end of the 19th century, the development of small-scale electrical energy production began in Spanish urban centers. In the beginning, the network configuration consisted of a low-voltage electricity generator, driven by a steam engine or a hydraulic wheel, that fed the public lighting close to the point of generation. These electricity installations had a problem in the transport of the electric current, due to heat losses in power lines [1].

Between 1884 and 1885 the Hungarian electrotechnical production company Ganz & Cia [2] built the first alternating current transformer. This advance was fundamental for the development and expansion of long-distance electric power transmission lines, as it allowed raising the tension in the network with the aim of minimizing transmission losses, reducing it when reaching the points of consumption [1]. Housed in small buildings or towers, the transformer would become part of the urban landscape at the end of the 19th century and the beginning of the 20th century, first in large cities and, later, in smaller towns. Afterwards, between 1907 and 1913, the main Spanish cities began to be supplied by transporting the electrical energy produced in hydroelectric plants with installed powers of about 5000 kW, through the transport system, mainly composed of transmission lines and substations. [3].

The electrical network works with different voltage levels. The transmission of electricity over long distances is always carried out at high voltage to counteract possible energy losses in transmission lines. On the contrary, for safety reasons for users, the supply is carried out at low voltage. Energy is transformed, initially, from high to medium in electrical substations and finally from medium to low in transformation centers located close to distribution points.

The first Valencian electricity company was the *Sociedad Española de Electricidad*, established in 1883, followed by the creation of numerous companies, societies and cooperatives that opted for the concessions of the different hydroelectric power plants, competing among themselves in the generation and supply of electricity.

In May 1907 the company *Hidroeléctrica Española*, also known by its contraction *Hidrola* or by its acronym HE, was founded with the aim of building a dam on the Júcar river to produce electrical energy to supply Madrid and Valencia [4]. In 1908, HE obtained the contract for the electric public lighting of the Valencia City Council, and, with this aim, the *Electra Valenciana* distributor was funded in 1910. [5].

Additionally, in 1913 *Volta* company was founded, being its main objective the-acquisition and integration of electricity production and distribution businesses to expand the market. In 1957, *Electra Valenciana* was incorporated into *Volta* and, in 1960, a merger-absorption of *Volta* by HE was carried out. In the Valencian market, HE had a dominant position in terms of production, but not in distribution, so from 1927 it acquired a third of the shares of *Volta*, a company whose distribution network occupied the majority of the province of Valencia except the capital. Despite hard competition, HE had managed, on the eve of the civil war, to seize 70% of the electricity production in the Valencian Community, and together with its distributors, it served the needs of 50% of the subscribers. [5].

In 1991, the three founding companies of *Iberdrola* merged (*Hidroeléctrica Ibérica*, *Hidroeléctrica Española* and *Iberduero*) [4].

Objetivos y metodología

Algunas de las torres transformadoras de electricidad, además de ser componentes esenciales para la distribución de energía eléctrica y formar parte, junto con otras construcciones, de una extensa red de elementos industriales de valor histórico y patrimonial, están dotadas de una cierta calidad arquitectónica digna de ser resaltada. El objetivo de este trabajo es analizar una pequeña muestra¹ de estas torres de transformación de la provincia de Valencia, con el fin de ponerlas en valor y promover su preservación y su catalogación como patrimonio industrial, habiéndose constatado que, a pesar de estar en uso, algunas han sido objeto de vandalización propiciando su deterioro.

Una vez identificadas y georreferenciadas, se ha buscado información en varias fuentes, constatando que la documentación existente sobre estas construcciones es bastante escasa, incluso algunas de ellas ni siquiera figuran en la base de datos del catastro. Posteriormente, se ha realizado una visita in situ, para la toma de datos y análisis de las características arquitectónicas. Para concluir, se propone una ficha tipo, con el objetivo de promover la creación de un catálogo o base de datos de este tipo de construcciones.

Las torres transformadoras de electricidad

En este epígrafe se presentan y analizan una pequeña muestra de diferentes torres transformadoras, señalando, por su interés arquitectónico, dos, propiedad de las compañías suministradoras *Volta* y *Electra Valenciana*.

a) Torres de VOLTA e Hidrola (HE) en el término municipal de Alzira

Entre las torres de VOLTA del término municipal de Alzira destaca la torre de referencia catastral 46017A057002950000II, ubicada junto a la CV 50 que constituye el acceso a la ciudad desde Tavernes (coordenadas U.T.M. HUSO: 30 ETRS89 723299.23, 4334863.92). No ha sido posible encontrar información sobre esta edificación, ni en el catálogo del PGOU de Alzira [6], ni en la base de datos del catastro [7], en la que la parcela de 23 m² en la que está ubicada la torre tiene asignado un uso agrario y no se indica la existencia de ninguna construcción.

Se trata de una torre de planta rectangular de dimensiones 6 x 4 m y dos alturas, que debió ser construida entre 1913 y 1960 (imagen 1). Destaca, desde el punto de vista arquitectónico, la composición de las fachadas delantera y trasera, formadas por un cuerpo principal central, flanqueado por otros dos cuerpos laterales, que se acentúan por medio de molduras rectangulares. Se remarca el zócalo de planta baja de 1 m. de altura, las impostas horizontales que señalan los dos niveles de la torre (a 3.85 y 7.7 m. respectivamente), y el remate superior, construido hasta alcanzar los 8.6 m. de altura total. Este remate, que mantiene la composición de los tres cuerpos, está revestido por una franja de azulejos de colores blanco y azul índigo siguiendo un patrón en damero. En la parte central de la planta baja de la fachada delantera (la orientada hacia la carretera) se ubica el acceso, rematado por una pequeña cornisa de escaso vuelo ejecutada con teja cerámica curva.

Las fachadas laterales mantienen la presencia del zócalo y las impostas, así como el resalte de los machones de las esquinas que se prolongan hasta el remate, en el que la franja de azulejos, típico de esta zona, forma un único recuadro. Este remate es similar al de la torre de la imagen 2, construida en la misma zona y de la que tampoco hay información en el catastro ni en el PGOU de Alzira.

En la fachada principal de esta torre de transformación, hay que destacar el rótulo “VOLTA S.A. 17” que indica, en color índigo sobre fondo blanco, el nombre de la empresa suministradora de electricidad y el número de torre. La tipografía es moderna, tipo palo, sin remates, a excepción del brazo de la letra L y el asta horizontal de la letra T, ambas rematadas con serifas².

En la actualidad parece que se encuentra en uso, aunque ha sido objeto de pintadas en el cuerpo inferior, tal y como se aprecia en la imagen 1.

¹ El tamaño de la muestra viene condicionado por la limitación de espacio de este documento.

² Las serifas son unos pequeños remates puntiagudos que adornan el final de los caracteres en algunas fuentes tipográficas

Objectives and methodology

Some of the electricity transformer towers, in addition to being essential components for the distribution of electrical energy and forming part, along with other constructions, of an extensive network of industrial elements of historical and patrimonial value, are endowed with a certain architectural quality worthy of be highlighted. The objective of this study is to analyze a small sample³ of these transformer towers in the province of Valencia, to enhance their heritage value and to promote their preservation and cataloging as industrial heritage, having found that, despite being in use, some of them have been vandalized, leading to their deterioration.

Once identified and georeferenced, several sources have been consulted, noting that the existing documentation on these constructions is quite scarce, some of them even do not appear in the cadastral database. Subsequently, an on-site visit was made to collect data and analyze the architectural characteristics. To conclude, a standard file is proposed, with the aim of promoting the creation of a catalog or database of this type of construction.

The electricity transformer towers

In this section, a small sample of different transformer towers is presented and analyzed, highlighting, due to their architectural interest, two of them, owned by the supply companies *Volta* and *Electra Valenciana*.

a) VOLTA and Hidrola (HE) towers in the municipality of Alzira

Among the towers of VOLTA in the municipality of Alzira, the cadastral reference tower 46017A057002950000II stands out, located next to CV 50 that constitutes the access to the city from Tavernes (coordinates U.T.M. HUSO: 30 ETRS89 723299.23, 4334863.92). It has not been possible to find information on this building, neither in the Alzira PGOU catalog [6], nor in the cadastral database [7], in which the 23 m² plot on which the tower is located has assigned an agricultural occupancy use and the existence of any construction is not indicated.

It is a rectangular tower measuring 6 x 4 m and two levels, which must have been built between 1913 and 1960 (image 1). From an architectural point of view, the composition of the front and rear facades stands out. They are formed by a central main body, flanked by two other side bodies, which are accentuated by means of rectangular moldings. The 1 m high basement on the ground floor, the horizontal impostes that mark the two levels of the tower (at 3.85 and 7.7 m. respectively), and the upper finish, built up to 8.6 m. total height, are the features to be highlighted. This finish, which maintains the composition of the three bodies, is covered by a strip of tiles in white and indigo blue following a checkerboard pattern. The access is in the central part of the ground floor of the front façade (the one facing the road), topped by a small low-flying cornice executed with curved ceramic tile.

The side facades maintain the presence of the plinth and the impostes, as well as the protrusion of the buttresses in the corners that extend to the top, in which the strip of tiles, characteristic of the area, forms a single box. This finish is similar to that of the tower in image 2, built in the same area and for which there is no information neither in the cadastral database nor in the Alzira PGOU catalog.

On the main façade of this transformer tower, the sign “VOLTA S.A. 17”, which indicates, in indigo color on a white background, the name of the electricity supply company and the tower number, must be pointed out. The typography is modern, stick type, without serifs, except for the arm of the letter L and the horizontal flagpole of the letter T, both finished with serifs⁴.

At present it seems to be in use, although it has been painted on the lower body, as can be seen in image 1.

³ The size of the sample is conditioned by the limited space of this document

⁴ The serifs are small lines or strokes found at the end of the characters in some typographies to add a distinctive touch.

En la ciudad de Alzira se han identificado otras dos torres de VOLTA construidas en 1960, así como una torre de Hidrola (HE) construida en 1965. Las tres siguen la misma estructura y composición, totalmente diferente a la de la CV 50, al ser de menores dimensiones, sin impostas remarcando los niveles y con una cubierta a cuatro aguas en lugar de plana. La primera torre de Volta (referencia catastral 3269023YJ2336N0001KO) está en la calle Santa María del Bonaire, número 43 y la segunda (referencia catastral 2471012YJ2327S0001RU) se ubica en la calle Anna Sanchis, número 53, ambas en la ciudad de Alzira. Por último, la torre de Hidrola (referencia catastral 4169101YJ2346N0001FD) se encuentra en la calle del Bonaire, también en Alzira.

Las fotografías de las fachadas principales, así como las de los rótulos, se pueden ver en la imagen 3. Es de destacar la diferencia en las grafías del rótulo de VOLTA, tanto entre las dos torres construidas en 1960 como con la de la CV 50, siendo esta última la más sencilla.



Imagen 1. Torre de Volta nº 17
Image 1. VOLTA tower Nº 17

Imagen 2. Torre de VOLTA nº 75
Image 2. VOLTA tower Nº 75

b) Subestación ELECTRA VALENCIANA (1910-1957), barrio de Ruzafa (Valencia)

Esta torre de transformación de 9 metros cuadrados y de referencia catastral 6312006YJ2761A0001HM fue construida en 1930. Está situada en la calle Zapadores del barrio de Ruzafa de Valencia (coordenadas U.T.M. HUSO: 30 ETRS89 726343.03,4371022.65), junto a la antigua casa del guardabarrera que regulaba el paso del ferrocarril de la línea Valencia-Barcelona en el cruce del antiguo camino de Tránsitos (actual avenida de Peris y Valero).

Las tres fachadas (principal, lateral y trasera), así como el rótulo de la compañía y la ubicación se muestran en la imagen 4. El valor a destacar de esta torre es el rótulo ubicado en el remate construido a continuación de la imposta que marca la altura de la segunda planta. Esta coronación incluye un mosaico de azulejos en el que se indica el nombre de la empresa suministradora “*Sociedad Anónima Electra Valenciana*” y el número de la subestación “802”. El logotipo de *Electra Valenciana* ajusta el rótulo en el interior de un círculo de color granate, en el que las letras, de color azul índigo y de tipografía de palo, se van adaptando a la forma del mismo. Resaltan las palabras *Electra* y *Valencia* con un trazo un poco más grueso. El número de la subestación se escribe en color granate y se recuadra con un marco del mismo color. Este rótulo forma parte de los archivos de la plataforma “tipos que importan” [8], cuyo objetivo es contribuir a la conservación y difusión de la cultura local a través de la recuperación del Rótulo Comercial Valenciano.

El estado de mantenimiento de la torre no es óptimo, apreciándose humedades en el cuerpo superior y pintadas en la puerta de acceso.

In the city of Alzira, two other VOLTA towers built in 1960 have been identified, as well as a Hidrola (HE) tower built in 1965. The three follow the same structure and composition, totally different from that of CV 50. They are smaller, without impostes highlighting the levels and with a pitched roof instead of a flat one. The first tower of Volta (cadastral reference 3269023YJ2336N0001KO) is at Santa María del Bonaire Street, number 43 and the second (cadastral reference 2471012YJ2327S0001RU) is at Anna Sanchis street, number 53, both in the city of Alzira. Finally, the Hidrola tower (cadastral reference 4169101YJ2346N0001FD) is located at Carrer del Bonaire, also in Alzira.

The photographs of the main façades, as well as those of the signs, can be seen in image 3. It is worth highlighting the difference in the letters of the VOLTA sign, both between the two towers built in 1960 and with that of CV 50, the latter being the simplest.



Imagen 3. Torres de VOLTA e HIDROLA construidas en 1960 y 1965.

Image 3. VOLTA and HIDROLA towers built in 1960 and 1965.

b) ELECTRA VALENCIANA substation (1910-1957), Ruzafa neighborhood (Valencia)

This 9-square-meter transformation tower and cadastral reference 6312006YJ2761A0001HM was built in 1930. It is located at Zapadores street in the Ruzafa neighborhood of Valencia (UTM HUSO coordinates: 30 ETRS89 726343.03,4371022.65), next to the old gatekeeper's house that regulated the passage of the Valencia-Barcelona railway line at the junction of the old road to Transits (current avenue of Peris y Valero).

The three facades (main, side and rear), as well as the company sign, and the location are shown in image 4. The main characteristic to be pointed out of this tower is the sign located on the top, built after the impostes that marks the height of the second floor. This coronation includes a mosaic of tiles in which the name of the supplying company “*Sociedad Anónima Electra Valenciana*” and the substation number “802” are indicated. The *Electra Valenciana* logo adjusts the sign inside a maroon-coloured circle, in which the indigo blue letters with wooden font adapt to the shape of the label. The words *Electra* and *Valencia* are highlighted with a slightly thicker line. The substation number is written in maroon and is boxed with a frame of the same colour. This sign is part of the archives of the platform “*Typographies that matter*” [8], whose objective is to contribute to the conservation and dissemination of local culture through the recovery of the Valencian Commercial Sign.

The state of maintenance of the tower is not optimal, showing dampness in the upper body and graffiti on the access door.

Resultados

En el apartado anterior se han descrito las características arquitectónicas de una serie de torres de transformación eléctrica de la provincia de Valencia, identificando aquellos elementos singulares, arquitectónicos o no, que le proporcionan un valor añadido al que ya disponen por formar parte de una red de elementos industriales de valor histórico y patrimonial. Los principales aspectos para reseñar son: tipo de cubierta, composición de las fachadas, revestimientos, azulejos, rótulos y tipografía, recogidos en la tabla resumen de la imagen 5. Para facilitar la creación de un catálogo o base de datos que recoja este tipo de construcciones, en este apartado se propone la recopilación de la información en una ficha tipo, como la mostrada en la imagen 6, en la que, junto con la ubicación, se incluyan todos los aspectos mencionados, además de las imágenes de las fachadas y de los detalles.



Imagen 4. Torre de ELECTRA VALENCIANA. Fuente: Base de datos del catastro [7]. Fotografías de los autores
Image 4. ELECTRA VALENCIANA tower. Source: Cadastre database [7]. Credits: the authors

Conclusiones

Los resultados de esta investigación muestran la escasez de información sobre este tipo de construcciones, justificando la necesidad de desarrollar una base de datos recopilatoria de estas edificaciones, en la que se subrayen las principales características que las distinguen, con el fin de proteger estos edificios, fundamentales en el desarrollo industrial de los pueblos y ciudades y que forman parte de su contexto paisajístico.

En este trabajo se incluyen una serie de fuentes de información que han sido consultadas, que pueden servir de fuente para la elaboración de las fichas propuestas. Adicionalmente, para consultar los proyectos originales, se puede consultar el archivo Histórico de Iberdrola [4]. La creación de este tipo de inventario debería llevarse a cabo por comarcas y extenderse al resto de provincias de la Comunidad Valenciana.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- [1] A. Armero Martínez. El proceso de electrificación inicial en la provincia de Valencia (1882-1907). Tesis doctoral, UPV, 2015. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/62168>
- [2] J. Olivares Galván, M. A. Venegas, S. Magdalena. La Historia del Transformador http://iee.azc.uam.mx/fgm/tms/Articulo_Historia_del_Transformador.pdf
- [3] I. Bartolomé Rodríguez. La industria eléctrica en España (1890-1936). *Estudios de Historia Económica*, vol. 50, Banco de España, Madrid, 2007
- [4] JC. García Adán, Y. Diego Martín. El archivo histórico de Iberdrola y la industria eléctrica en España: fondos para la investigación histórica. Congreso de historia económica, Santiago de Compostela, Sept.2005. http://www.usc.es/estaticos/congresos/histec05/b21_garcia_diego.pdf
- [5] E. San Román. Cien años de Historia de Iberdrola. Volumen I, 2006. E-prints Complutense, Repositorio Institucional de la UCM: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/60334/>
- [6] Ajuntament d'Alzira, Catálogo del Plan General de Ordenación Urbana, 2002.
- [7] Sede electrónica del Catastro (SEC). <https://www1.sedecatastro.gob.es>
- [8] Plataforma “tipos que importan”, <https://www.tiposqueimportan.com>

Results

In the previous section, the architectural characteristics of a series of electrical transformer towers in the province of Valencia have been described, identifying those unique elements, architectural or not, that provide added value to that which they already have as part of a network of industrial elements of historical and heritage value.

The main aspects to be stressed are: type of roof, composition of the facades, coatings, tiles, signs and typography, collected in the summary table in image 5. To facilitate the creation of a catalog or database that collects this type of constructions, this section proposes the compilation of the information in a data form, such as the one shown in image 6, in which, together with the location, all the mentioned aspects are included, in addition to the images of the facades and of the details.

Nº	Compañía company	Año year	A destacar To highlight	Estado de conservación Conservation estate	Ciudad city
1	VOLTA nº 17	Desconocido unknown	Rótulo, composición de la fachada y azulejos. Sign, façade composition and tiles	Con grafiti Painted with graffiti	Alzira
2	VOLTA nº 75	Desconocido unknown	Rótulo, y azulejos sign and tiles	Con grafiti Painted with graffiti	Alzira
2	VOLTA HE	1960	Rótulo /sign	Pintada de negro painted in black	Alzira
3	VOLTA	1960	Rótulo /sign	Con grafiti Painted with graffiti	Alzira
4	HE	1965	Rótulo /sign	Mejorable / improvable	Alzira
5	ELECTRA VALENCIANA	1930	Rótulo/sign Remate de cubierta / roof's finish	Con humedades Shows dampness	Valencia

Imagen 5. Tabla resumen de las torres analizadas. Image 5. Summary table of the analyzed towers.

Dirección	C/ Juan Mercader, nº 20, Valencia		
Referencia catastral	9425601YJ2792E0001UL	En funcionamiento	SI
Coordenadas	U.T.M. HUSO 30 ETRS89	729330.83	4372314.66
Año:	1958	Alturas:	1 planta
Dimensiones	en planta: 6 x 4 m	Superficie:	24 m ²
Propiedad:	Sin datos		
IMÁGENES			
			
Fuente: base datos catastro 2013			
Fuente: © 2021 Google			

CONSULTA DESCRIPTIVA Y GRÁFICA DE DATOS CATASTRALES DE BIEN INMUEBLE	
Referencia catastral: 9425601YJ2792E0001UL	
INDICADORES DEL INMUEBLE	PARCELA
Localización: SI, GRAN MERCADER 20, PASEO VALÈNCIA, VALÈNCIA	Superficie gráfica: 24 m ²
Clase: edificio	Participación del inmueble: 100,00 %
Uso principal: vivienda	Tip: Parcela censada en el catastro topográfico
Superficie construida: 24 m ²	
Área construida: 100	
Construcción:	
Estado:	
Ficha catastral	
Tipo de cubierta	plana
Estado de conservación	aparentemente bueno, con grafitis
Elementos a destacar*	ningún elemento de interés arquitectónico
Observaciones	ninguna
<ul style="list-style-type: none"> Composición de la fachada, tipo de cubierta, materiales de revestimiento o cubrición (azulejos, pétros, teja árabe...) tipo de rótulo, tipografía... 	

Imagen 6. Propuesta de ficha para base de datos/catálogo. Image 6. Proposed data form for a database/catalog.

Conclusions

The results of this research show the scarcity of information on this type of construction, justifying the need to develop a compilation database of these buildings, in which the main characteristics that distinguish them are underlined, in order to protect these buildings, fundamental in the industrial development of towns and cities and that are part of their landscape context.

This study includes a series of information sources that have been consulted, which can serve as a source for the elaboration of the proposed forms. Additionally, to consult the original projects, the Iberdrola Historical Archive [4] can be consulted.

The creation of this type of inventory should be carried out by regions and extended to the rest of the provinces of the Valencian Community.

**LA VIVIENDA FERROVIARIA EN VALENCIA.
NOTAS SOBRE EL CONTEXTO NORMATIVO Y ESTUDIOS DE CASO
(1941-1989)**

**RAILWAY HOUSING IN VALENCIA.
NOTES ON THE REGULATORY CONTEXT AND CASE STUDIES (1941-1989)**

Aurora Martínez-Corral

*Doctora arquitecta., profesora asociada en el departamento de Construcciones Arquitectónicas de la UPV y arquitecta municipal de los Servicios Jurídicos e Infracciones Urbanísticas del Ayuntamiento de Bétera (Valencia). E-mail: aumarcor@csa.upv.es
PhD Architect. Part-time professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. Municipal Architect of the Legal Services and Town Planning Infractions of the Bétera Town Council (Valencia).. E-mail: aumarcor@csa.upv.es*

Domingo Cuéllar Villar

Doctor en Historia y Especialista en Transportes, profesor asociado de Historia Económica e Historia del Pensamiento Económico en la Universidad Rey Juan Carlos. Ha sido profesor asociado en la Universidad Autónoma de Madrid e investigador visitante en Universidade Estadual Paulista (UNESP). Ha desempeñado diferentes puestos de gestión en la Fundación de los Ferrocarriles Españoles. Responsable del sistema de archivos de RENFE Viajeros SMÉ SA.

E-mail: domingo.cuellar@urjc.es.

PhD in History and Specialist in Transport, he is part-time professor of Economic History and History of Economic Thought at the Universidad Rey Juan Carlos. He has been part-time professor at the Universidad Autónoma de Madrid and visiting researcher at the Universidade Estadual Paulista (UNESP). He has held various management positions at the Fundación de los Ferrocarriles Españoles..He is currently responsible for the company's archive system at RENFE Viajeros SME SA. E-mail: domingo.cuellar@urjc.es.

Abstract

The construction of railway housing in Valencia by RENFE firstly and by railway workers' cooperatives in a second period represents a representative sample of railway housing built in Spain between 1941-1989. This paper presents an analysis of the material and construction parameters of the Valencian housing developments built during the period under study with a certain prospective about the sustainability of these constructions still in use. The historical-constructive analysis for the elaboration of their inventory implies the recognition of this legacy with social value, as already highlighted in the Nizhny-Tagil letter (2003), as part of the record of the lives of ordinary citizens, thus collaborating in their heritage preservation and where the recording of the constructive-material parameters is fundamental for subsequent actions in pursuit of the continuity of use of these dwellings with observance of minimum standards of sustainability.

Keywords

Social housing, urban planning, construction, economics, sustainability, heritage

Introducción

La construcción de vivienda ferroviaria en España fue muy relevante y convirtió al sector, primero a través de las empresas ferroviarias y después de los cooperativistas, en uno de los principales agentes inmobiliarios del periodo: unas 17.000 viviendas, distribuidas en unas 260 promociones ubicadas en 40 poblaciones que tenían más de 50.000 habitantes en 1960 y otras tantas que tenían entre 5.000 y 50.000 habitantes, parámetros sobre los que se ha establecido tradicionalmente la definición de ciudad, junto con la información de la distribución de la población por sectores (Reher, 1986).

La ciudad de Valencia, con 17 promociones registradas, construidas entre 1950 y 1989, constituye, junto al caso de Madrid, Barcelona y Zaragoza, uno de los más representativos. Además, es relevante, junto a las promociones de empresa de RENFE y MACOSA, la gran actividad de la cooperativa “El Ferrobús”, formada por trabajadores ferroviarios que llevará a cabo hasta ocho promociones durante el periodo estudiado¹, existiendo además otras dos cooperativas. Todas estas viviendas siguen en uso y se dispersan por toda la ciudad. Destacaremos dos ejemplos de interés para un estudio más detenido: las viviendas de RENFE Alameda y las viviendas de la cooperativa “Valencia” en el Horno de Alcedo.

Esta investigación utiliza como fuentes primarias los expedientes de construcción de los respectivos proyectos (Archivo del Ministerio de Fomento y Archivo Municipal de Valencia) y los informes sobre la situación de los terrenos destinados a la construcción de viviendas (Archivo Histórico Ferroviario). Dentro de las fuentes secundarias trabajamos con las memorias económicas de las cooperativas ferroviarias (Archivo General de la Administración) y las actas de los consejos de administración de la empresa pública RENFE (Archivo Histórico de RENFE). También resulta de especial interés el estudio de la hemeroteca histórica especializada, tanto de arquitectura y vivienda como ferroviaria, además de la amplia bibliografía general que existe sobre vivienda, urbanismo y ciudad.

Contexto normativo técnico y de la vivienda social

En el caso valenciano confluyen las mismas circunstancias que rodearon la construcción de vivienda social en el resto de España. El cambio institucional tras la Guerra civil traerá también nueva legislación social y de la vivienda. Así, la ley de 19 de abril de 1939 establecía dos normas fundamentales y de fuerte calado: por un lado, el nuevo régimen de protección a la vivienda y, por otro lado, la creación del Instituto Nacional de la Vivienda.

Esta Ley estuvo vigente durante tres lustros y reguló el proceso de las viviendas durante la autarquía, donde debió gestionar una evidente escasez de recursos, la falta clamorosa de material y una sobre planificación que hacía muy difícil el cumplimiento de los objetivos. Después, en 1954, con los nuevos aires económicos, y en pleno decenio bisagra, se aprobó la Ley de 15 de julio de 1954. Posteriormente, el Decreto de 1968, de aprobación del reglamento de viviendas de protección oficial (VPO) establecía dos grupos de viviendas y dentro del segundo, cuatro categorías donde las limitaciones básicas serán respecto de la superficie construida y del presupuesto de ejecución material. Esta normativa será la que resulte de mayor aplicación en el conjunto de viviendas valenciano.

Acerca de la normativa técnica, en primer lugar, con un carácter generalista y ambiguo, se aprobó, a propuesta de la Comisión de Sanidad local, la Orden de 29 de febrero de 1944² que consistía en un compendio de 14 preceptos destinados a mejorar las condiciones higiénicas de las viviendas. La siguiente normativa de aplicación, fueron las Ordenanzas Técnicas y normas constructivas para “viviendas de renta limitada” de 1955³, debido a que la gran mayoría de viviendas que se construían en el país en esos años eran subvencionadas. Estas ordenanzas y normas distinguen según las viviendas pertenezcan al primer o al segundo grupo. En nuestro caso de estudio, todas las viviendas pertenecen al segundo grupo y a la 2ª o 3ª categoría. Esta norma respecto de la anterior establece algunos preceptos más e incluye mayor casuística, así como mayor concreción, aunque sigue siendo poco concreta respecto de soluciones a aplicar.

¹ La cooperativa “El Ferrobús” se fundó en 1968 llegando a entregar como cooperativa más de 3.000 viviendas durante 30 años. A partir de 1998 se constituyó como sociedad anónima adoptando la denominación de “Iniciativas Inmobiliarias Ferrobús, S.A.” continuando en activo dedicada a la promoción de todo tipo de proyectos inmobiliarios.

² BOE nº 61, de 1 de marzo de 1944.

³ BOE nº 197, de 16 de julio de 1955.

Introduction

The construction of railway housing in Spain was very important and turned the sector, first through the railway companies and later through the cooperative companies, into one of the main real estate agents of the period: some 17,000 dwellings, distributed in some 260 developments located in 40 towns with more than 50,000 inhabitants in 1960 and others with between 5,000 and 50,000 inhabitants, parameters on which the definition of a city has traditionally been established, together with information on the distribution of the population by sector (Reher, 1986).

The city of Valencia, with 17 registered developments, built between 1950 and 1989, is, together with Madrid, Barcelona, and Zaragoza, one of the most representative cases. In addition to the company developments of RENFE and MACOSA, the great activity of the cooperative "El Ferrobús"⁴, made up of railway workers, which carried out up to eight developments during the period studied, is also relevant, as are two other cooperatives. All these dwellings are still in use and are scattered throughout the city. We will highlight two examples of interest for a more detailed study: the RENFE Alameda housing and the housing of the "Valencia" cooperative in Horno de Alcedo.

This research uses as primary sources the construction files of the respective projects (Archive of the Ministry of Public Works and Municipal Archive of Valencia) and the reports on the situation of the land destined for the construction of housing (Railway Historical Archive). Among the secondary sources, we worked with the economic reports of the railway cooperatives (Archivo General de la Administración) and the minutes of the boards of directors of the public company RENFE (Archivo Histórico de RENFE). Also of special interest is the study of the specialised historical periodicals library, both on architecture and housing as well as railways, in addition to the extensive general bibliography on housing, urban planning and the city.

Technical and social housing regulatory context

In the Valencian case, the same circumstances that surrounded the construction of social housing in the rest of Spain converged. The institutional change after the Civil War also brought new social and housing legislation. Thus, the law of 19 April 1939 established two fundamental and far-reaching regulations: on the one hand, the new housing protection regime and, on the other hand, the creation of the National Housing Institute.

This law was in force for three lustrums and regulated the housing process during the autarchy, where it had to manage an evident shortage of resources, a clamorous lack of material and an over-planning that made it very difficult to achieve the objectives. Then, in 1954, with the new economic winds, and in the middle of the key decade, the Law of 15 July 1954 was passed. Subsequently, the Decree of 1968, approving the regulations for subsidised housing (VPO) established two groups of dwellings and within the second, four categories where the basic limitations would be with respect to the built surface area and the material execution budget. These regulations will be the most applicable to the Valencian housing stock.

Regarding the technical regulations, firstly, with a generalist and ambiguous character, the Order of 29 February 1944⁵ was approved, at the proposal of the Local Health Commission, which consisted of a compendium of 14 precepts aimed at improving the hygienic conditions of dwellings. The next regulations to be applied were the Technical Ordinances and construction standards for "limited income housing" of 1955⁶, because most of the housing built in the country in those years was subsidised. These ordinances and standards distinguish between dwellings belonging to the first and second group. In our case study, all the dwellings belong to the second group and to the 2nd or 3rd category. This regulation establishes some more precepts and includes more casuistry, as well as greater specificity, although it is still not very specific with regard to the solutions to be applied.

⁴ The cooperative "El Ferrobús" was founded in 1968 and over the course of 30 years it delivered more than 3,000 homes as a cooperative. In 1998 it was incorporated as a public limited company under the name of "Iniciativas Inmobiliarias Ferrobús, S.A." and continues to be active in the promotion of all types of real estate projects.

⁵ BOE nº 61, march, 1, 1944

⁶ BOE nº 197, july, 16, 1955.

La siguiente disposición que resulta de aplicación en el periodo estudiado es la Orden de 20 de mayo de 1969⁷, de “Ordenanzas provisionales de Viviendas de Protección Oficial” por la que se aprueba la adaptación de las ordenanzas técnicas y normas constructivas aprobadas por la citada Orden de 1955 y por la orden de 22 de febrero de 1968. Esta Orden comprende 33 ordenanzas, con mayor concreción que las precedentes, que abarcan desde los contenidos mínimos de proyecto, composición y programa de las viviendas, condiciones de ventilación con prescripción de alturas de bloque en función de la anchura de calle o dimensión de los patios de luces, disposiciones constructivas o instalaciones, entre otros. Por último, la Orden de 24 de noviembre de 1976 aprobó las normas técnicas de diseño y calidad de las viviendas sociales algunas de ellas revisadas por la Orden de 17 de mayo de 1977⁸ que ya aportaban mayor concreción y detalle a las prescripciones incluidas.

Debe precisarse que, paralelamente a la aprobación de la normativa específica para vivienda protegida, el desarrollo de la normativa técnica, con la aprobación de las normas del Ministerio de la vivienda (Normas MV)⁹ que se desarrollaban por la Dirección General de Arquitectura¹⁰, antecedentes de las Normas Básicas y que se completaron con las Normas Tecnológicas¹¹ que no eran de obligado cumplimiento aunque podían serlo si así lo determinaba la Entidad Promotora o el Organismo que otorgase beneficios a la construcción, fue muy extensiva su aplicación dado su carácter operativo.

Estudios de caso. Viviendas RENFE en Valencia Alameda (1954)

RENFE obtuvo la consideración de “entidad constructora” de viviendas protegidas por Decreto de 26 de abril de 1944¹². Ello la habilitaba para tutelar expedientes que se promovieran ante el INV y permitía que la empresa sólo tuviera que aportar como máximo el 10% del presupuesto o, como alternativa, que se admitiesen a cuenta de este los solares de su propiedad donde iban a construirse las viviendas, que fue la opción más común, dada la disposición de suelo que tenía la compañía. En los proyectos promovidos por RENFE resulta característica la repetición de tipologías, diseño de células, materialidad y soluciones constructivas independientemente de la ubicación, derivado de que los arquitectos eran parte de la plantilla.

El edificio de Valencia-Alameda (ilustración 1), perteneciente al plan de las 4.000 viviendas de RENFE, inicialmente se proyecta para 170 viviendas, pero finalmente son 76 las viviendas que se construyen. Se trata de un caso paradigmático en la ciudad de Valencia por dos razones fundamentales: por tratarse de la primera promoción de edificación abierta en la ciudad con aplicación de criterios de modernidad; y por tratarse de una de las promociones que más se han revalorizado derivado del desarrollo urbanístico del entorno. El proyecto se redacta en 1948 por el arquitecto de la compañía Fernando Ruiz Jaime y la construcción se lleva a cabo en 1954.

Ilustración 1. Edificio viviendas RENFE Valencia-Alameda. Planta, vista en construcción y en su estado actual.



Fuente. AMV. Exp. H4 RG 620. Serie Ensanche. Caja 1. Año 1950, AHF, FV-0042 e imagen de los autores (2021).

⁷ BOE nº 123, de 20 de mayo de 1969.

⁸ BOE nº 296, de 10 de diciembre de 1976 y BOE nº 141, de 17 de junio de 1977, respectivamente.

⁹ Se trata de 10 disposiciones normativas aprobadas entre los años 1962 (Acciones de la edificación) y 1976 (Perfiles huecos de acero para estructuras de edificación).

¹⁰ Organismo creado para la reconstrucción nacional, por la Ley de 23 de septiembre de 1939. Tenía atribuida las misiones de: ordenación nacional de la arquitectura, dirigir la intervención de los arquitectos en servicios públicos y dirigir las actividades profesionales del sector.

¹¹ BOE nº 163, de 9 de julio de 1977 y BOE nº 13, de 15 de enero de 1973, respectivamente.

¹² BOE nº 128, de 7 de mayo de 1944

The next provision to be applied in the period under study was the Order of 20 May 1969 on "Provisional regulations for subsidised housing", which approved the adaptation of the technical regulations and building standards approved by the Order of 1955 and by the Order of 22 February 1968.¹³ This Order includes 33 ordinances, with greater specificity than the previous ones, ranging from the minimum contents of the project, composition and programme of the dwellings, ventilation conditions with prescription of block heights depending on the width of the street or the size of the light courtyards, construction provisions or installations, among others. Finally, the Order of 24 November 1976 approved the technical standards for the design and quality of social housing, some of which were revised by the Order of 17 May 1977.¹⁴, which provided greater specificity and detail to the prescriptions included.

It should be pointed out that, in parallel to the approval of the specific regulations for subsidised housing, the development of the technical regulations, with the approval of the Ministry of Housing standards (MV Standards).¹⁵ which were developed by the Directorate General of Architecture.¹⁶, antecedents of the Basic Standards and which were completed with the Technological Standards.¹⁷, which were not obligatory although they could be so if so determined by the Developer or the Body that granted benefits to construction, was very extensive in its application given its operative nature.

Case studies. RENFE housing in Valencia Alameda (1954)

RENFE obtained the status of "construction entity" for subsidised housing by Decree of 26 April 1944.¹⁸ This empowered it to supervise files promoted before the INV and allowed the company to only have to contribute a maximum of 10% of the budget or, alternatively, to accept on account of this the plots of land it owned where the houses were to be built, which was the most common option, given the availability of land that the company had. In the projects promoted by RENFE, the repetition of typologies, cell design, materiality and construction solutions is characteristic, regardless of the location, due to the fact that the architects were part of the staff.

The Valencia-Alameda building (Illustration 1), part of RENFE's plan for 4,000 dwellings, was initially planned for 170 dwellings, but in the end 76 dwellings were built. This is a paradigmatic case in the city of Valencia for two fundamental reasons: because it was the first open building development in the city to apply modern criteria; and because it is one of the developments that has seen the greatest increase in value as a result of the urban development of the surrounding area. The project was drawn up in 1948 by the company architect Fernando Ruiz Jaime and the building was completed in 1954.

Illustration 1. RENFE Valencia-Alameda housing. Plan, view during construction and in its current state.



Source. AMV. Exp. H4 RG 620. Ensanche series. Box 1. Year 1950, AHF, FV-0042 and authors' image (2021).

¹³ BOE n° 123, 1969, May, 20.

¹⁴ BOE n° 296, 1976, December, 10 and BOE n° 141, 1977, June, 17, respectively.

¹⁵ These are 10 normative provisions adopted between 1962 (Building Actions) and 1976 (Hollow Steel Sections for Building Structures).

¹⁶ Body created for national reconstruction, by the Law of 23 September 1939. Its missions were: national organisation of architecture, directing the intervention of architects in public services and directing professional activities in the sector.

¹⁷ BOE n° 163, 1977, June, 9 and BOE n° 13, 1973, January, 15, respectively.

¹⁸ BOE n° 128, 1944, May, 7.

La promoción, compuesta a base de bloques de doble cruja, consta de 7 plantas y 4 tipos de células con una superficie media de 68 m². Se proyecta adicionalmente un quinto tipo, sólo para “personal superior” y en número de 2 unidades, de mayor superficie por adicionar un dormitorio más. Esta superficie incluía la útil de las viviendas y la parte proporcional de elementos comunes. Las viviendas se componen de cocina, aseo con ducha, estar-comedor y dos o tres dormitorios, excepto el quinto tipo que consta de cuatro dormitorios. La distribución se basa bien en pasillo con estancias a uno de los lados o bien en estar-comedor con la función adicional de distribuidor a los dormitorios.

La construcción se compone de zapatas corridas de hormigón en masa, forjado sanitario para las viviendas de planta baja, ya que, en este caso se trataba de cumplir con la exigencia del ayuntamiento de Valencia respecto a que el intradós del forjado de planta primera debía situarse a 3,60 m de altura. Así, para que las viviendas de planta baja tengan la misma altura libre que las del resto de plantas, se opta por la solución de forjado sanitario, el cual, a su vez, evita humedades por contacto con el terreno.

Los muros se constituyen a base de fábricas de ladrillo de 2 pies macizos en planta baja y 1,5 pies de espesor macizos hasta planta segunda y doble hueco para el resto. Los muros de carga coincidentes con fachadas no van doblados, por lo que el aislamiento se confía al espesor de la hoja resistente (50 o 36,5 cm, según se trate de plantas bajas o altas).

El detalle constructivo más interesante encontrado en el proyecto es la denominación de los muros de atado, denominados “de traviesas”. Esta denominación tiene su origen en la construcción entramada, “entramados” según Bails.¹⁹: hacer entramados o paredes de carpintería con pies derechos, almas, virotillos, etc., llenando los vacíos que entre estos quedan de ladrillos trabados con mezcla o yeso. A finales del XVIII se produjo la sustitución del entramado por fábrica de albañilería.²⁰ Por ello para nuestro caso en estudio, y tras análisis detallado del proyecto, sólo se conserva la denominación, aunque no se ajusta a la composición de estos muros de atado que se constituyen a base de ladrillo cerámico macizo de 1,5 pies de espesor hasta la planta primera y de un pie de espesor en el resto de las plantas. En todos los casos, el rejuntado se realiza a base de mortero de cemento en tendeles “a buena traba”. Se disponen llaves en encuentros.

El resto de los elementos constructivos son convencionales con la consigna del máximo ahorro de hierro restringido su uso por Decreto de 11 de marzo de 1941.²¹ Así, únicamente en hormigón armado se ejecutan jácenas, pies derechos y cargaderos. Los forjados son autárquicos con aligerantes a base de ladrillo doble hueco dispuesto en tabla y dejando un espacio de 5 cm entre piezas para ejecutar nervaduras in situ a base de hormigón armado, pero con únicamente dos redondos en la cara traccionada. Las cubiertas son a la catalana, con acabado a base de rasilla; los revestimientos son a base de enlucidos de yeso interiores y revoco pétreo al exterior. Las particiones son a base de ladrillo hueco sencillo, de 4,5 cm de espesor según proyecto, la carpintería es de madera de pino del país y los acristalamientos son sencillos empleando vidrio catedral para los cuartos húmedos. Se proyectan persianas de madera para oscurecimiento de las estancias. La fontanería es de hierro galvanizado o plomo y la electricidad a base de hilo de cobre con un único punto de luz por estancia excepto el estar-comedor que cuenta con dos. Los solados son a base de baldosín hidráulico y el alicatado a base de azulejo cerámico. Las escaleras, de tres tramos, son a base de doble rosca de rasilla, con peldaños de ladrillo que se revisten de piedra natural y los antepechos son de ladrillo con pasamanos de madera. El ascensor se dispone en el hueco de la escalera.

Estudio de caso. Viviendas de la Cooperativa “La ferroviaria valenciana” en Horno Alcedo (1971)

Se trata de un conjunto de 332 viviendas de protección oficial (Ilustración 2), actualmente en uso, promovidas por la cooperativa “La ferroviaria valenciana” y construidas en 1971. El arquitecto autor del proyecto fue Jose Manuel Romaní García del Moral. El contexto de normativa de vivienda social y técnico era completamente diferente al de las viviendas RENFE con mayor número y concreción en las prescripciones. El contexto económico también era muy diferente sin existir restricciones al uso o acceso de materiales. Se trata de una promoción a base de bloques aislados rectangulares paralelos

¹⁹ Bails, 1802, p. 40.

²⁰ González-Redondo, 2014, p. 4.

²¹ BOE nº 71 de 12 de marzo de 1941. El reglamento de aplicación se publica en BOE nº 214 de 2 de agosto de 1941.

The development, made up of double-bay blocks, consists of 7 floors and 4 cell types with an average surface area of 68 m². In addition, a fifth type is planned, only for "senior staff" and in number of 2 units, with a larger surface area due to the addition of an extra bedroom. This surface area included the living area of the dwellings and the proportional part of the common elements. The dwellings consist of a kitchen, shower room, living/dining room and two or three bedrooms, except for the fifth type, which has four bedrooms. The layout is based either on a corridor with rooms on one side or on a living-dining room with the additional function of a distributor to the bedrooms.

The construction is made up of continuous footings of mass concrete, sanitary slab for the ground floor dwellings, as, in this case, the aim was to comply with the requirement of the Valencia City Council that the soffit of the first-floor slab should be 3.60 m high. Thus, in order for the ground floor dwellings to have the same clear height as the rest of the floors, the sanitary slab solution was chosen, which, in turn, prevents dampness due to contact with the ground. The walls are made of brick masonry of 2 solid bricks on the ground floor and 1.5 solid bricks up to the second floor and double hollow bricks for the rest of the building. The load-bearing walls coinciding with the façades are not folded, so the insulation is based on the thickness of the resistant sheet (50 or 36.5 cm, depending on whether they are on the ground or upper floors).

The most interesting construction detail found in the project is the designation of the tie walls, known as "sleeper walls". This designation has its origins in half-timbered construction, "entramados" according to Bails:²² making timber framing or carpentry walls with straight legs, cores, ferrules, etc., filling the gaps between them with bricks bonded with mortar or plaster. At the end of the 18th century, the framework was replaced by masonry.²³ Therefore, for our case study, and after a detailed analysis of the project, only the name has been preserved, although it does not match the composition of these tie walls, which are made of solid ceramic bricks 1.5 feet thick up to the first floor and one foot thick on the rest of the floors. In all cases, the grouting is made with cement mortar in "good locking" tendrils. Taps are provided at the joints.

The rest of the construction elements are conventional, with the aim of saving as much iron as possible, restricted by the Decree of 11 March 1941.²⁴ Thus, only in reinforced concrete are beams, right footings and load-bearing elements. The slabs are self-supporting with lightening elements based on double hollow bricks arranged in slabs and leaving a space of 5 cm between pieces to execute ribs in situ based on reinforced concrete, but with only two rounds on the tensioned face. The roofs are Catalan style, with a rasilla finish; the cladding is based on interior plaster and stone rendering on the exterior. The partitions are made of simple hollow bricks, 4.5 cm thick according to the project, the carpentry is made of local pine wood and the glazing is simple, using cathedral glass for the wet rooms. Wooden blinds are planned to darken the rooms. The plumbing is of galvanised iron or lead and the electricity is copper wire based with only one light point per room except for the living-dining room which has two. The floors are tiled with hydraulic tiles and the tiling with ceramic tiles. The staircases, with three flights, are made of double threaded rasilla, with brick steps covered with natural stone and the parapets are made of brick with wooden handrails. The lift is located in the stairwell.

Case study. Housing of the Cooperative "La ferroviaria valenciana" in Horno Alcedo (1971).

This is a complex of 332 subsidised housing units (Illustration 2), currently in use, promoted by the cooperative "La ferroviaria valenciana" and built in 1971. The architect who designed the project was Jose Manuel Romaní García del Moral. The context of social and technical housing regulations was completely different to that of the RENFE dwellings, with a greater number and more specific requirements. The economic context was also very different with no restrictions on the use or access to materials. It is a development based on isolated parallel rectangular blocks.

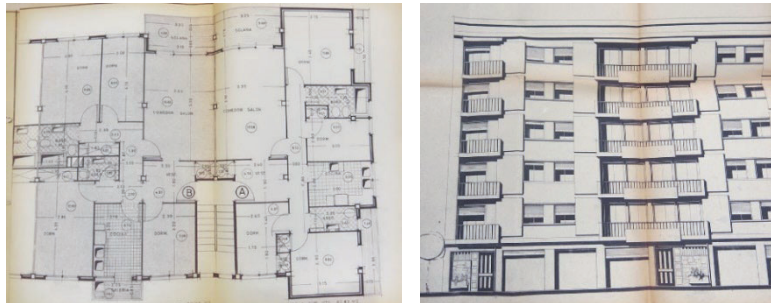
²² Bails, 1802, p. 40.

²³ González-Redondo, 2014, p. 4.

²⁴ BOE No 71, 1941, March, 12. The implementing regulations are published in BOE No 214, 1941, August, 2.

con 6 plantas. La planta baja, a diferencia de las viviendas RENFE donde se destina a vivienda, se destina a locales comerciales. Se trata también de una promoción de edificación abierta con ajardinamiento abierto entre bloques. La superficie construida media por vivienda son 101 m² (con elementos comunes) y el régimen es de propiedad a diferencia de RENFE que es en alquiler.

Ilustración 2. Planta y alzado viviendas Horno de Alcedo.



Fuente. AMV, Parte moderna. Fomento, viviendas, caja 9.

Todas las viviendas contaban con cuatro dormitorios, baño y aseo. La memoria constructiva de proyecto expone cimentación a base de pozos de hormigón de 200 excepto los últimos treinta centímetros en los que se prescribe hormigón de 350 para recibir los anclajes, solera de hormigón de 15 cm de espesor sobre capa de bolos y enlucido con cemento en polvo, estructura a base de hormigón armado con jácenas de cuelgue y forjados compuestos por viguetas prefabricadas. Los cerramientos, con un espesor total de 20 cm, se ejecutan con hoja exterior a base de fábrica de ladrillo hueco de 11 cm, cámara de aire de 2 cm y hoja interior a base de ladrillo del 7. Los revestimientos exteriores son a base de enfoscado y pintura. Las particiones interiores se realizan con tabique de ladrillo hueco sencillo, de 4 cm de espesor. Las separaciones entre viviendas o elementos comunes se realizan con tabique del 7. La caja de escalera se ejecuta con ladrillo macizo de 12 cm de espesor. La cubierta es transitable plana sobre tabiquillos del 7 separados 50 cm. La impermeabilización se ejecuta a base de una primera capa de enfoscado de mortero fratasado, otra de asfalto fundido no caliente extendido a paleta y pavimento a base de rasilla. Las juntas de dilatación se ejecutan a base de chapa de plomo rellenas con masilla plástica.

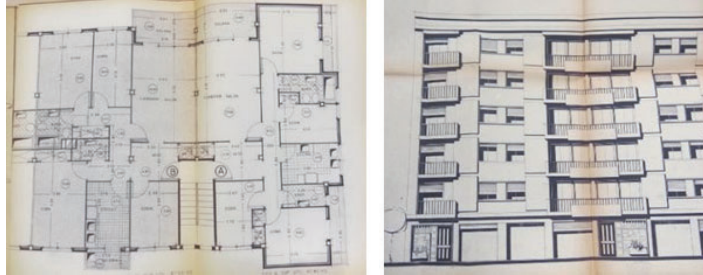
La escalera se ejecuta con bóveda a base de dos hojas de rasilla con barandillas a base de fábrica de ladrillo y pasamanos de madera. Los revestimientos interiores verticales y de techos son a base de enlucido de yeso a buena vista con pintura al temple excepto en cuartos húmedos donde se dispone alicatado hasta el techo a base de azulejo cerámico de 15x15 cm blanco o de color. Los solados son a base de terrazo de 30x30 cm. Los baños cuentan con bañera de 1,40 m y bidé. La encimera de cocina es de mármol contando con fregadero de dos senos, cocina con horno y extractor. La carpintería exterior es a base de perfiles laminados y la interior de madera de Suecia. Los acristalamientos son sencillos (2 mm) e impresos en el interior y dobles (4 mm) al exterior. La instalación de fontanería es a base de tubería de hierro galvanizado y el agua caliente se produce mediante termos eléctricos o de gas. Las bajantes de pluviales y fecales se prescriben a base de tubería de fibrocemento con sifones en todos los aparatos y la pocería se ejecuta con tubería de cemento vibrado de 16, 20 y 30 cm de diámetro. La instalación eléctrica es empotrada bajo tubo con capacidad para posible instalación de calefacción eléctrica o de calor negro. Se prevé dos puntos de luz y dos enchufes por estancia con interruptores conmutados en dormitorios y estar-comedor. Las viviendas disponen de antena colectiva, timbre y portero automático.

Conclusiones

El registro de materiales, detalles constructivos y prescripciones técnicas como parte del inventario de vivienda social resulta esencial tanto debido a que se trata de objetos arquitectónicos como de que su conocimiento resulta esencial para posteriores intervenciones de rehabilitación en un patrimonio en uso e incluso, a pesar de lo humilde de sus características constructivas, en revalorización como es el caso de las viviendas de RENFE Alameda expuesto. Por otro lado, de cara a la posibilidad de actuaciones de adaptación de este parque de viviendas respecto de las actuales directrices de sostenibilidad y eficiencia energética también el conocimiento lo más exhaustivo posible de las características materiales y constructivas resulta esencial para determinar la viabilidad de dichas actuaciones.

with 6 floors. The ground floor, unlike the RENFE dwellings where it is used for housing, is used for commercial premises. It is also an open building development with open landscaping between blocks. The average built area per dwelling is 101 m² (with common elements) and the regime is ownership, unlike RENFE, which is rental.

Illustration 2. Plan and elevation of the "Horno de Alcedo" dwellings.



Source. AMV, Modern Part. Fomento, housing, box 9.

All the dwellings had four bedrooms, bathroom, and toilet. The project's construction report states that the foundations are based on 200 cm concrete shafts except for the last thirty centimetres, where 350 cm concrete is prescribed to receive the anchors, a 15 cm thick concrete slab on a layer of boulders and plastered with powdered cement, a structure based on reinforced concrete with hanging beams and floor slabs made up of prefabricated joists. The enclosures, with a total thickness of 20 cm, are made with an outer leaf based on 11 cm hollow brick masonry, 2 cm air chamber and inner leaf based on 7 cm brick. The exterior coatings are based on rendering and paint. The interior partitions are made with single hollow brick partition walls, 4 cm thick. The separations between dwellings or common elements are made with partition walls of 7 mm. The stairwell is made of 12 cm thick solid brick. The roof is flat and walkable on 7 mm partition walls separated by 50 cm. The waterproofing is made up of a first layer of rendering with trowelled mortar, another layer of unheated mastic asphalt spread with a trowel and a screed-based paving. The expansion joints are made of lead sheet filled with plastic putty.

The staircase has a vaulted ceiling made of two leaves of rasilla with brickwork handrails and wooden handrails. The interior vertical and ceiling coverings are based on plaster plastering with tempera paint except in the wet rooms where tiling up to the ceiling is based on 15x15 cm white or coloured ceramic tiles. The floors are made of 30x30 cm terrazzo. The bathrooms have a 1.40 m bathtub and bidet. The kitchen worktop is made of marble and has a double sink, cooker with oven and extractor fan. The exterior carpentry is based on laminated profiles and the interior carpentry is made of Swedish wood. The glazing is single (2 mm) and printed on the inside and double (4 mm) on the outside. The plumbing installation is based on galvanised iron pipes and hot water is provided by electric or gas water heaters. The downpipes for rainwater and sewage are made of fibre cement pipes with siphons in all the appliances and the drainage is made of vibrated cement pipes of 16, 20 and 30 cm in diameter. The electrical installation is recessed under pipe with capacity for the possible installation of electric heating or black heat. There are two light points and two sockets per room with switches in the bedrooms and living-dining room. The homes have a communal aerial, buzzer, and intercom.

Conclusions

The recording of materials, construction details and technical specifications as part of the inventory of social housing is essential both because these are architectural objects and because knowledge of them is essential for subsequent rehabilitation interventions in a heritage in use and even, despite the humble construction characteristics, in revaluation as in the case of the RENFE Alameda dwellings on display. On the other hand, with a view to the possibility of actions to adapt this housing stock to current sustainability and energy efficiency guidelines, the most exhaustive knowledge possible of the material and construction characteristics is also essential to determine the feasibility of such actions.

Bibliografía

- Azpilicueta, E. (2004). *La construcción de la arquitectura de postguerra en España (1939-1962)*
- Azpilicueta, E., & Araujo, R. (2012). El mito industrial. *Revista Tectónica*, 38, 4-19.
- Bails, B. (1802). *Diccionario de Arquitectura Civil*. Imprenta de la viuda de Ibarra.
- Cuéllar, D., & Martínez-Corral, A. (2018). Una casa para nuestros padres: Una aproximación a las cooperativas de viviendas en España (1960-1985). *IV Congreso Internacional sobre Patrimonio Industrial. Ciudades e Patrimonio Industrial*.
- Martínez-Corral, A., & Cuéllar, D. (2020). Las soluciones constructivas en la vivienda durante el franquismo: El caso de la vivienda ferroviaria. *Informes de la Construcción*, Vol. 72, 558, e341, abril-junio 2020. <https://doi.org/10.3989/ic.71047>
- Paricio Ansuátegui, I. (1973). Las razones de la forma en la vivienda masiva. *Cuadernos de arquitectura y urbanismo*, 96, 2-18.
- Pérez Igualada. (2006). *La ciudad de la edificación abierta: Valencia, 1946-1988*
- Reher, D. S. (1986). Desarrollo urbano y evolución de la población: España 1787-1930. *Revista de Historia Económica. Journal of Iberian and Latin American Economic History*, 4(1), 39-66.

Bibliography

- Azpilicueta, E. (2004). *La construcción de la arquitectura de postguerra en España (1939-1962)*
- Azpilicueta, E., & Araujo, R. (2012). El mito industrial. *Revista Tectónica*, 38, 4-19.
- Bails, B. (1802). *Diccionario de Arquitectura Civil*. Imprenta de la viuda de Ibarra.
- Cuéllar, D., & Martínez-Corral, A. (2018). Una casa para nuestros padres: Una aproximación a las cooperativas de viviendas en España (1960-1985). *IV Congreso Internacional sobre Patrimonio Industrial. Ciudades e Patrimonio Industrial*.
- Martínez-Corral, A., & Cuéllar, D. (2020). Las soluciones constructivas en la vivienda durante el franquismo: El caso de la vivienda ferroviaria. *Informes de la Construcción*, Vol. 72, 558, e341, abril-junio 2020. <https://doi.org/10.3989/ic.71047>
- Paricio Ansuátegui, I. (1973). Las razones de la forma en la vivienda masiva. *Cuadernos de arquitectura y urbanismo*, 96, 2-18.
- Pérez Igualada. (2006). *La ciudad de la edificación abierta: Valencia, 1946-1988*
- Reher, D. S. (1986). Desarrollo urbano y evolución de la población: España 1787-1930. *Revista de Historia Económica. Journal of Iberian and Latin American Economic History*, 4(1), 39-66.

IDENTIFICACIÓN REPRESENTATIVA DEL REAL COLEGIO SEMINARIO DE CORPUS CHRISTI EN SU VISITA PÚBLICA

REPRESENTATIVE IDENTIFICATION OF THE REAL COLLEGE SEMINAR OF CORPUS CHRISTI IN ITS PUBLIC VISIT

Concepción López González

Investigadora en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrita al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Catedrática de Escuela Universitaria, Doctora Arquitecta. E-mail: mlopezg@ega.upv.es

M^a José Viñals Blasco

Investigadora en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrita al Departamento de Ingeniería Cartográfica Geodesia y Fotogrametría; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Catedrática de Universidad. E-mail: mvinals@upv.es

Jorge Luis García Valdecabres

Investigador en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrito al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular de Universidad, Doctor Arquitecto. E-mail: jgvallde@ega.upv.es

Luis Cortés Meseguer

Investigador en el Centro de Investigación de Tecnología de la Edificación y adscrito al Dpto. de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Contratado Doctor Arquitecto. E-mail: luicorme@csa.upv.es

Abstract

Within the framework of the R + D project "analysis and development of HBIM integration in GIS for the creation of a tourist planning protocol of the cultural heritage of a destination (HBIMSIG-tourism) subsidized by the Ministry of Science and Innovation, has been developed This research in which it is intended to establish the identity signs of one of the case studies raised in this project: the Royal College of Corpus Christi of Valencia (Patriarca). The identification of the representative landmarks that make this monument a cultural reference at an international level. It is carried out according to various fields of interest: Historical, Urban, Architectural, Artistic, Religious and Traditional. The classification of the interests of the visit in thematic areas favors the analysis and identification of the problems caused by the flow of visitors at the destination. Likewise, the management and adaptation of the public visit can be structured and optimized through new collaborative work methodologies such as Heritage Building Information Modeling (HBIM). The introduction of these graphic and alphanumeric data in an HBIM environment favors collaborative work between the different agents involved in the management and documentation of the public cultural visit, improving the management of tourist itineraries and rationalizing the influx of visitors..

Keywords

Patrimonial public visit, Cultural tourism, Royal College of Corpus Christi, El Patriarca

Introducción

El aumento del nivel educativo de la sociedad, el acceso público generalizado al patrimonio y la puesta en valor de numerosos monumentos y sitios han favorecido la expansión del turismo cultural (García-Hernández, 2003). Muchas ciudades tienen como principal dinamizador económico su patrimonio y, por tanto, avanzar en la mejora de su planificación y gestión es una obligación para garantizar la sostenibilidad, sobre todo en el marco de su desarrollo turístico.

En los momentos actuales, en los que se ha producido una desconexión del público con el patrimonio debido a la pandemia mundial del COVID-19, se ha evidenciado la necesidad de disponer de nuevas herramientas de planificación y gestión que permitan la rápida implantación de protocolos para la visita cultural que informen sobre los aforos recomendados (capacidad de carga recreativa) y los estándares de proxémica (distanciamiento entre personas) en aras de garantizar la seguridad sanitaria del visitante, el confort físico y psicológico y la idoneidad de la visita (Viñals et al., 2017).

La planificación del turismo cultural a través de metodologías colaborativas facilitaría, por su parte, la consideración de estos aspectos a través de una única plataforma de gestión.

En un momento en que las administraciones públicas demuestran una voluntad de potenciar el conocimiento y divulgación de sus activos patrimoniales, la investigación de nuevas tecnologías no invasivas que implican métodos de trabajo eficientes relativos a la planificación del turismo cultural, tanto presencial como virtual, que ayuda además a prevenir impactos sobre el patrimonio, y situaciones sociales de turismofobia y gentrificación es muy oportuna.

Sería de gran ayuda para los responsables de los monumentos, que una única plataforma gestionara de forma unitaria todos los aspectos relativos a la visita pública tanto desde el punto de vista técnico de conservación y mantenimiento como desde la perspectiva de planificación y gestión del turismo y la cultura.

En este sentido, se ha comprobado que la metodología BIM aplicada al patrimonio cultural es un activo fiable para la documentación, estudio, mantenimiento y gestión de los monumentos. Brumana et al. definieron el concepto Heritage Building Information Modeling (HBIM) como un nuevo sistema de modelar y documentar edificios históricos y también como divulgador cultural.

Desde entonces, la literatura científica ha puesto de manifiesto el potencial de HBIM para documentar el edificio existente (Salvador-García et al. 2018). En este mismo sentido, se ha avanzado en el registro de las patologías a través de la monitorización y colocación de sensores en edificios patrimoniales lo que supone grandes beneficios para la preservación y planificación de las actuaciones (Bruno et al., 2018). Los avances en la documentación y gestión del patrimonio HBIM no sólo se han limitado a edificios existentes, sino que también se está ensayando la consideración histórica y la creación de modelos en el campo de la arqueología (Martín y Murillo, 2020).

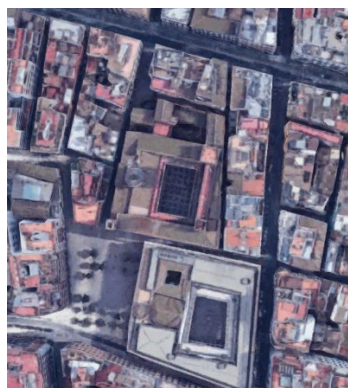


Imagen 1. Emplazamiento. Vista aérea
Image 1. Site. Aerial view



Imagen 2. Vista de pájaro
Image 2. Bird sight



Imagen 3. Fachada principal
Image 3. Main facade

Introduction

The increase in the educational level of society, the generalized public access to heritage and the enhancement of numerous monuments and sites have favored the expansion of cultural tourism (García-Hernández, 2003). Many cities have their heritage as their main economic driver and, therefore, making progress in improving their planning and management is an obligation to guarantee sustainability, especially within the framework of their tourism development.

In the current moments, in which there has been a disconnection of the public with the heritage due to the global pandemic of COVID-19, the need for new planning and management tools that allow the rapid implementation of protocols for the cultural visit that provides information on the recommended capacity (recreational carrying capacity) and proxemic standards (distance between people) in order to guarantee the visitor's health safety, physical and psychological comfort and the suitability of the visit (Viñals et al., 2017).

The planning of cultural tourism through collaborative methodologies would facilitate, for its part, the consideration of these aspects through a single management platform.

At a time when public administrations demonstrate a willingness to enhance the knowledge and dissemination of their heritage assets, the investigation of new non-invasive technologies that imply efficient working methods related to the planning of cultural tourism, both face-to-face and virtual, which helps in addition to preventing impacts on the heritage, and social situations of tourismophobia and gentrification is very timely. It would be of great help for those responsible for the monuments, if a single platform managed in a unitary way all the aspects related to the public visit both from the technical point of view of conservation and maintenance and from the perspective of planning and management of tourism and the culture.

In this sense, it has been proven that the BIM methodology applied to cultural heritage is a reliable asset for the documentation, study, maintenance and management of monuments. Brumana et al. They defined the Heritage Building Information Modeling (HBIM) concept as a new system for modeling and documenting historic buildings and also as a cultural disseminator.

Since then, the scientific literature has revealed the potential of HBIM to document the existing building (García-Valdecabres et al., 2018; Salvador-García, 2020). In this same sense, progress has been made in the registration of pathologies through the monitoring and placement of sensors in heritage buildings, which represents great benefits for the preservation and planning of actions (Bruno et al., 2018). Advances in the documentation and management of the HBIM heritage have not only been limited to existing buildings, but historical consideration and the creation of models in the field of archeology are also being tested (Martín and Murillo, 2020).

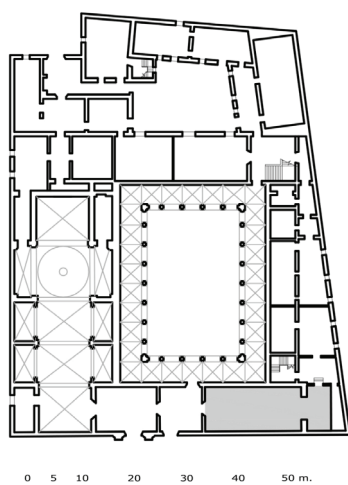


Imagen 4. Planta del estado actual
Image 4. Current state plane

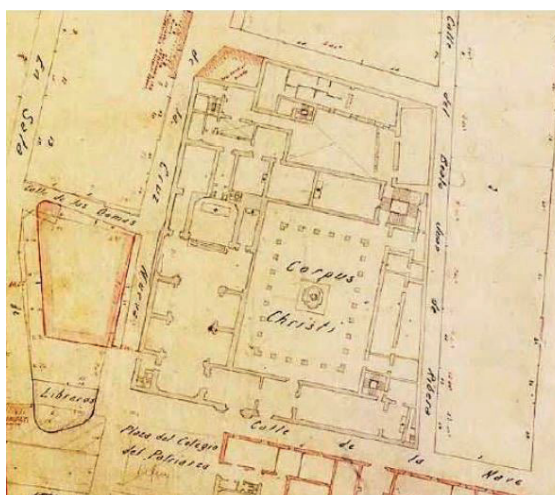


Imagen 5. Anónimo 1910
Image 5. Anonymous 1910

Sin embargo, no existen investigaciones relativas al uso de la metodología HBIM encaminada a la gestión de la visita turística a excepción de la realizada por Elena Salvador García (Salvador-García, 2020) donde se ha iniciado la investigación en este sentido con notables resultados en el estudio de un caso concreto. Siguiendo esta línea se propone el ensayo del protocolo establecido por Elena Salvador sobre el Real Colegio Seminario de Corpus Christi de Valencia por tratarse de un monumento que encierra un gran valor arquitectónico, artístico y religioso, con una gran carga de turismo cultural. Fundado en 1583 por el arzobispo y virrey de Valencia y Patriarca de Antioquía, Juan de Ribera es el monumento más representativo del siglo XVI y principios del XVII (Bérchez y Gomez-Ferrer, 1995). Se hace necesario establecer la base de datos relacionada con la visita pública cultural que será implementada en HBIM para su posterior procesamiento y gestión. Esta base de datos debe contener aspectos relativos a las áreas de interés que el monumento genera.

Objetivos y metodología

Uno de los primeros objetivos planteados al comienzo de la investigación se concreta en determinar las señas de identidad que hacen del monumento, en este caso el Real Colegio de Corpus Christi de Valencia, un bien con atractivo para ser visitado. Una vez especificadas las claves representativas del monumento es necesario realizar una catalogación según las áreas temáticas de interés.

Se ha realizado un análisis de la literatura científica en torno a este monumento, recogiendo tanto la vertiente histórica como la artístico-arquitectónica sin olvidar su aspecto religioso-espiritual. Asimismo, se ha consultado el magnífico archivo que atesora, el cual da luz sobre la figura de su fundador, su construcción y los acontecimientos que envuelven los primeros siglos de vida de este magnífico edificio. Afortunadamente, la minuciosidad y el celo en su trabajo del fundador ha hecho que lleguen hasta nuestros días todos los gastos ocasionados por la construcción. Por último, se ha obtenido información de la fuente más directa y fiable: el propio edificio. Se está llevando a cabo un levantamiento de planos mediante escáner láser 3D, creándose nubes de puntos que son susceptibles de ser importadas al entorno HBIM, facilitando la posterior digitalización 2D y 3D. En esta misma plataforma de trabajo se incorporarán los datos gráficos y alfanuméricos obtenidos anteriormente.

La catalogación de los datos obtenidos se ha estructurado en seis áreas temáticas, de las cuales las tres primeras son tangibles y las dos últimas pertenecen al patrimonio intangible: Urbanismo, Arquitectura, Arte, Historia, Rituales Religiosos y Tradición.

1.- Urbanismo: EL Real Colegio Seminario se constituye como una manzana completa y cerrada de la ciudad. Para su construcción, su fundador, Juan de Ribera, compró un total de 47 propiedades quedando amortizadas en su interior 5 calles (López y Máñez, 2020)

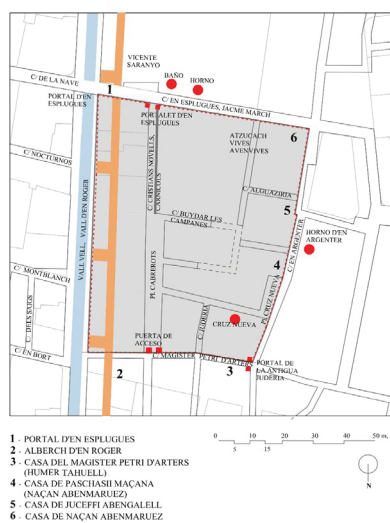


Imagen 6. La judería en 1392 (C. López)
Image 6. Jewish quarter in 1392



Imagen 7. Mancelli 1608
Image 7. Mancelli 1608

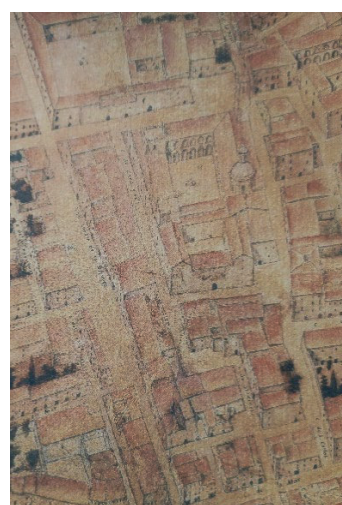


Imagen 8. Tosca 1704
Image 8. Tosca 1704

However, there is no research on the use of the HBIM methodology aimed at managing tourist visits, except for the one carried out by Elena Salvador García (Salvador-García, 2020) where research in this regard has been initiated with notable results in the study of a concrete case. Following this line, the test of the protocol established by Elena Salvador on the Royal Seminary College of Corpus Christi in Valencia is proposed because it is a monument that contains a great architectural, artistic and religious value, with a great load of cultural tourism. Founded in 1583 by the Archbishop and Viceroy of Valencia and Patriarch of Antioquia, Juan de Ribera is the most representative monument of the 16th and early 17th centuries (Bérchez and Gomez-Ferrer, 1995). It is necessary to establish the database related to the cultural public visit that will be implemented in HBIM for its subsequent processing and management. This database must contain aspects related to the areas of interest that the monument generates.

Objectives and methodology

One of the first objectives raised at the beginning of the investigation is to determine the hallmarks that make the monument, in this case the Royal College of Corpus Christi in Valencia, an attractive property to be visited. Once the representative keys of the monument have been specified, it is necessary to catalog them according to the thematic areas of interest.

An analysis of the scientific literature around this monument has been carried out, collecting both the historical and the artistic-architectural aspects without forgetting its religious-spiritual aspect. Likewise, the magnificent archive that it treasures has been consulted, which sheds light on the figure of its founder, its construction and the events that surround the first centuries of life of this magnificent building. Fortunately, the meticulousness and zeal in his work of the founder has made all the expenses incurred by construction reach our days. Finally, information has been obtained from the most direct and reliable source: the building itself. Plans are being surveyed using a 3D laser scanner, creating point clouds that can be imported into the HBIM environment, facilitating subsequent 2D and 3D digitization. The graphical and alphanumeric data obtained previously will be incorporated into this same work platform.

The cataloging of the data obtained has been structured into six thematic areas, of which the first three are tangible and the last three belong to intangible heritage: Urbanism, Architecture, Art, History, Religion and Tradition.

1.- Urbanism: The Royal Seminary College is constituted as a complete and closed block of the city. For its construction, its founder, Juan de Ribera, bought a total of 47 properties, with 5 streets being amortized inside. (López and Máñez, 2018)



Imagen 9. Portada de acceso
Image 9. Access cover



Imagen 10: Claustro renacentista
Image 10. Renaissance cloister

Toda la superficie que ocupa el Real Colegio Seminario se corresponde casi en su totalidad con el recinto de la judería que se delimitó en 1392 tras ser asaltado y devastado el antiguo recinto. Tras unas obras de mantenimiento se encontró en el solado del Patriarca una estrella de Davis en una antigua baldosa.

2.- Arquitectura: Este edificio constituye uno de los pocos y mejores ejemplos de arquitectura renacentista en la ciudad. La amistad que unía a Juan de Ribera con Carlos Borromeo es, sin duda, la causa de la influencia italianizante y de la aplicación de las normas arquitectónicas establecidas en el concilio de Trento (López et al., 2020). En su construcción (1583-1608) intervinieron los mejores maestros del momento (Benito, 1981): Gaspar Gregori, al que se le atribuyen las trazas, fue el autor de las obras más sobresalientes de la Valencia del XVI (La Obra Nova de la catedral, el torreón de la Generalitat, el Hospital General, etc.); Guillem del Rey trabajó con Gregori en las obras anteriores y también en el Patriarca, siendo el ejecutor de las trazas diseñadas por Gregori; Francisco Figuerola fue el autor de la magnífica escalera claustral.

La iglesia rompe con los modelos establecidos en el periodo medieval, adoptando planta de cruz latina, con nave central de dos tramos y capillas laterales cubiertas con bóveda de crucería y cúpula sobre tambor en el crucero. Puede considerarse el primer ejemplo italianizante de la ciudad.

El claustro fue construido con unas columnas de mármol que la Duquesa de Pastrana tenía almacenadas en Cartagena. Este condicionante no fue óbice para conformar un claustro de gran nivel compositivo y técnico (Llopis, 1999)

La escalera constituye el ejemplo más relevante del brillante episodio de la estereotomía valenciana de la edad moderna (Marín y López, 2018). Construida toda en piedra, sus complejas bóvedas alabeadas son resueltas por Figuerola con gran maestría. Constituye uno de los elementos arquitectónicos más admirados.

La capilla del Monumento, inspirada probablemente en la capilla del Almo. Colegio Borromeo de Pavía, de una sola nave y cubierta de cañón rebajado con magníficas pinturas de Tomás Hernández, ajustándose su decoración a modelos de la antigüedad. Las portadas, que se reparten por el interior del edificio siguen la influencia de los modelos establecidos por Serlio.

3.- Arte: El Patriarca alberga magníficas obras de arte, tanto en el museo como formando parte de la decoración interior del edificio. Los frescos pintados por Matarana en las bóvedas de la nave del templo son comparables a los que decoran el ábside de la catedral. También las pinturas de la bóveda de la capilla del Monumento son dignas de mención por su estilo clasicista.

Seis grandes tapices flamencos (1500-1530), recientemente restaurados por la Real Fábrica de Tapices de Madrid (6x4 m.), decoran las paredes de esta capilla. Tienen un gran valor histórico y artístico conformando una de las colecciones más valiosas de España. El museo recoge obras de artistas tan importante como El Greco, Jan Mabuse, Ribalta, Caravaggio, Juan de Juanes, Benlliure o Pinazo. Durante la guerra civil en el edificio se alojaron grandes obras de arte provenientes del Museo de Prado como Las Meninas de Velazquez.



Imagen 11. Interior del templo
Image 11. Temple interior



Imagen 12. Capilla del Monumento
Image 12. Chapel of the Monument

The entire surface occupied by the Royal Seminary College corresponds almost entirely to the Jewish quarter that was delimited in 1392 after the old site was attacked and devastated. After some maintenance work, a Davis star on an old tile was found on the Patriarch's flooring.

2.- Architecture: This building constitutes one of the few and best examples of Renaissance architecture in the city. The friendship that united Juan de Ribera with Carlos Borromeo is, without a doubt, the cause of the Italianate influence and the application of the architectural norms established in the Council of Trento (López et al., 2020). The best masters of the time (Benito, 1981) intervened in its construction (1583-1608): Gaspar Gregori, to whom the traces are attributed, was the author of the most outstanding works of the Valencia of the XVI (La Obra Nova de la cathedral, the tower of the Generalitat, the General Hospital, etc.); Guillem del Rey worked with Gregori in the previous works and also in the Patriarch, being the executor of the plans designed by Gregori; Francisco Figuerola was the author of the magnificent cloister staircase.

The church breaks with the models established in the medieval period, adopting a Latin cross plan, with a central nave with two sections and side chapels covered with a ribbed vault and a dome on a drum in the transept. It can be considered the first Italianate example of the city.

The cloister was built with marble columns that the Duchess of Pastrana had stored in Cartagena. This conditioning factor was not an obstacle to forming a cloister of great compositional and technical level (Llopis, 1999)

The staircase constitutes the most relevant example of the brilliant episode of the Valencian stereotomy of the modern age (Marín and López, 2018). Built entirely in stone, its complex warped vaults are solved by Figuerola with great skill. It is one of the most admired architectural elements.

The Chapel of the Monument, probably inspired by the Chapel of the Almo. Borromeo College of Pavia, with a single nave and a low barrel roof with magnificent paintings by Tomás Hernández, adjusting its decoration to ancient models.

The covers, which are distributed throughout the interior of the building, are influenced by the models established by Serlio.

3.- Art: The Patriarch houses magnificent works of art, both in the museum and as part of the interior decoration of the building. The frescoes painted by Matarana in the vaults of the nave of the temple are comparable to those that decorate the apse of the cathedral. Also the paintings in the vault of the Chapel of the Monument are noteworthy for their classicist style.

Six large Flemish tapestries (1500-1530), recently restored by the Royal Tapestry Factory of Madrid (6x4 m.), Decorate the walls of this chapel. They have great historical and artistic value, making up one of the most valuable collections in Spain. The museum collects works by such important artists as El Greco, Jan Mabuse, Ribalta, Caravaggio, Juan de Juanes, Benlliure or Pinazo. During the civil war, the building housed great works of art from the Prado Museum, such as Las Meninas de Velazquez.



Imagen 13. Escalera claustral
Image 13. Cloistered staircase



Imagen 14. Frescos del templo
Image 14. Temple paintings

4.- Historia: Juan de Ribera, arzobispo de Valencia, Patriarca de Antioquía y virrey de Valencia y de Nápoles, estuvo notablemente influido por el espíritu que emanaba del Concilio de Trento (1545-1563). Siguiendo sus ideales se propuso fundar un Colegio Seminario para la formación de jóvenes sacerdotes como también lo hizo Carlos Borromeo, amigo de Juan de Ribera y asistente al concilio. Para su construcción compró 47 propiedades, incluidas 5 calles ubicadas en lo que fue la judería de 1392. Comenzó la construcción cuando aún no se habían comprado todas. Llevó un seguimiento directo de las obras tomando decisiones relativas a la arquitectura, decoración y normas que se debían seguir, tanto en la administración y funcionamiento del colegio, como de los rituales religiosos.

Este celo en su trabajo queda reflejado en los magníficos fondos que posee el Archivo. Entre sus fondos se conservan la contabilidad de la casa desde su fundación. Contiene centenares de pergaminos del s. XIV al XVII. A ello hay que añadir 29.064 protocolos entre los s. XIV y XIX. (Andrés et al., 1990). Dispone del mayor fondo musical valenciano desde finales del s. XVI. La biblioteca dispone de fondos del siglo XVII a la actualidad entre los que se encuentra la biblioteca particular de Juan de Ribera legada al Colegio Seminario. En ella se custodian obras recurrentes para la historiografía valenciana como las Décadas de la Historia de Valencia redactadas por Gaspar Juan Escolano.

5.- Rituales religiosos y tradición: Es de señalar la celebración anual de la procesión claustral de la Octava del Corpus. Este acto viene realizándose desde que lo instauró Juan de Ribera en el siglo XV manteniendo el mismo rito establecido por su fundador. Además, se celebra en honor de su advocación, la festividad del Corpus. Al igual que en el acto anterior, se mantienen dos ceremonias instauradas por san Juan de Ribera: Ceremonia de Ramos y Canto de Alabados ante el Santísimo.

Asimismo, se conmemora la festividad de la “Virgen de la Antigua” o la “Purísima Purificación” por especial designado de Juan de Ribera: “...queremos que se tenga gran cuenta y atención con celebrar los Oficios de la Virgen Benditísima María Madre de Dios, y señora nuestra, y Patrona desta Casa, so la invocación de Nuestra Señora de la Antigua, que es la de su Purísima Purificación”.

El 5 de diciembre se celebra la festividad de San mauro, patrón del Colegio y patrón de la ciudad junto con San Vicente Ferrer y San Vicente Mártir. Sus reliquias fueron adquiridas por Juan de Ribera y aún se conservan en el Colegio.

Conclusiones

El Real Colegio Seminario de Corpus Christi de Valencia supone un exponente de la arquitectura, el arte y la tradición en la ciudad siendo, sin paliativos, el monumento más representativo de las pautas religiosas y arquitectónicas que gravitan en el ámbito valenciano de finales del s. XVI y principios del XVII.

Su calidad arquitectónica y las obras de arte y cultura histórica que encierra producen una fuerte impresión a aquellos que lo visitan. Al mismo tiempo, su magnífica biblioteca y el extenso archivo que atesora, es lugar de consulta obligado para los investigadores.



Imagen 15. Pintura de El Greco
Image 15. El Greco painting



Imagen 16. Tapiz flamenco (1500-1530)
Image 16. Flamenco tapestry (1500-1530)

4.- History: Juan de Ribera, Archbishop of Valencia, Patriarch of Antioquia and Viceroy of Valencia and Naples, was notably influenced by the spirit that emanated from the Council of Trent (1545-1563). Following his ideals, he proposed to found a Seminary College for the training of young priests, as did Carlos Borromeo, a friend of Juan de Ribera and assistant to the council. For its construction he bought 47 properties, including 5 streets located in what was the Jewish quarter of 1392. He began construction when not all had been bought yet. He carried out a direct monitoring of the works, making decisions regarding the architecture, decoration and rules that should be followed, both in the administration and operation of the school, as well as religious rituals.

This zeal in his work is reflected in the magnificent collections that the Archive has. Among his funds are kept the accounting of the house since its foundation. It contains hundreds of scrolls from the s. XIV to XVII. To this must be added 29,064 protocols between the s. XIV and XIX. (Andrés et al., 1990). It has the largest Valencian musical collection since the end of the s. XVI. The library has funds from the seventeenth century to the present, among which is the private library of Juan de Ribera bequeathed to the Colegio Seminario. Recurring works for Valencian historiography are kept in it, such as the Decades of the History of Valencia written by Gaspar Juan Escolano.

5.- Religious rituals and tradition: The annual celebration of the cloistered procession of the Octave del Corpus should be noted. This act has been taking place since it was established by Juan de Ribera in the 15th century, maintaining the same rite established by its founder. In addition, the Corpus Christi festivity is celebrated in honor of his dedication. As in the previous act, there are two ceremonies established by San Juan de Ribera: the Palm Ceremony and the Song of Praised before the Blessed Sacrament.

Likewise, the festivity of the "Virgen de la Antigua" or the "Purísima Purification" is commemorated by a special appointment of Juan de Ribera: "... we want you to have a great account and attention with celebrating the Offices of the Blessed Virgin Mary Mother of God , and Our Lady, and Patroness of this House, under the invocation of Our Lady of Antigua, which is that of her Purest Purification ”.

On December 5, the feast of San Mauro, patron of the College and patron of the city, is celebrated along with San Vicente Ferrer and San Vicente Mártir. His relics were acquired by Juan de Ribera and are still preserved in the College.

Conclusions.

The Royal Seminary College of Corpus Christi in Valencia is an exponent of architecture, art and tradition in the city, being, without palliative, the most representative monument of the religious and architectural patterns that gravitate in the Valencian area of the late s. XVI and principles of the XVII.

Its architectural quality and the works of art and historical culture that it contains make a strong impression on those who visit it. At the same time, its magnificent library and the extensive archive that it treasures, is an obligatory place of reference for researchers.



Imagen 17.- Interior del Archivo
Image 17. Inside the Archive



Imagen 18. La procesión claustral de la Octava del Corpus
Image 18. The cloistered procession of the Octave of Corpus

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Andrés Robres, Fernando. 1990. Inventario de fondos notariales del Real Colegio Seminario de Corpus Christi de Valencia, València.
- Benito, Fernando. 1981. La arquitectura del Colegio del Patriarca y sus artífices. Ed. Federico Domenech. Valencia
- Berchez, Joaquín, Gomez-Ferrer, Mercedes. 1995. Real Colegio de corpus Christi o del Patriarca (Valencia). En MONumentos de la Comunidad Valenciana. Tomo X. Generalitat Valenciana. Valencia
- Brumana, R., Oreni, D., Raimondi, A., Georgopoulos, A. y Bregianni A. 2013. From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: The case study of St. María in Scaria d'Intelvi. Digital Heritage International Congress: 497-504.
- Bruno, S., de Fino, M. Fatiguso, F. 2018. Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management. Automation in Construction, 86: 256-276.
- García Hernández, María. Turismo y conjuntos monumentales: capacidad de acogida turística y gestión de flujos de visitantes. Valencia: Tirant lo Blanch, 2003. ISBN 84-8442-757-9
- López González, María Concepción; Mañez Testor, Santiago. (2020) Revisión y nuevas contribuciones al límite meridional y oriental de la segunda judería de Valencia y fijación de los límites de la tercera y última judería: 1390-1392-1492. Sefarad, 1 (8), 25 - 54. 10.3989/sefarad.020-002
- López González, María Concepción; Besana, Daniela; G-Valldecabres, Jorge . (2020). Parallelisms Between the Almo Collegio Borromeo of Pavia and the Colegio Real de Corpus Christi of Valencia .. Graphical heritage (202 - 211). Springer. 978-3-030-47978-7
- Llopis, Jorge. (1999) Los órdenes clásicos y los mecanismos compositivos renacentistas: Los claustros valencianos del Colegio del Patriarca y el Monasterio de San Miguel de los Reyes. EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica, 5, 88 - 94
- Marín-Sánchez, Rafael; López González, María Concepción. (2018) La escalera del Real Colegio Seminario de Corpus Christi de Valencia (1599-1601): hipótesis de traza. Informes de la Construcción, 55 (7), 1 - 12. 10.3989/id.59131
- Martín Talaverano, R. y Murillo Fragero, J. I. 2020. La consideración histórica y arqueológica en la creación de modelos HBIM. Los estudios previos. VII Seminario de estrategias para el conocimiento del patrimonio arquitectónico. Sevilla.
- Salvador-García, Elena; G-Valldecabres, Jorge ; Viñals Blasco, M^a José. (2018) The use of HBIM models as a tool for dissemination and public use management of historical architecture: a review. International Journal of Sustainable Development and Planning, 1 (13), 96 - 107. 10.2495/SDP-V13-N1-96-107
- Salvador-García, Elena; Viñals Blasco, M^a José; G-Valldecabres, Jorge . (2020) Potential of hbim to improve the efficiency of visitor flow management in heritage sites. towards smart heritage management. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (Online), 1 (XLIV-M), 451 - 456. 10.5194/isprs-archives-XLIV-M-1-2020-451-2020
- Viñals Blasco, M^a José; Marta Mayor Salvi; Martínez-Sanchis, Immaculada; Teruel Serrano, M^a Dolores; Alonso-Monasterio Fernández, Pau; Morant González, Maryland(2017). Turismo sostenible y Patrimonio. Herramientas de planificación y puesta en valor.. Editorial Universitat Politècnica de València. 978-84-9048-618-4

**PROPUESTAS DE CONSERVACIÓN DE ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS
PRESENTES EN LAS FACHADAS DEL CABANYAL**

**PROPOSALS FOR THE CONSERVATION OF ARCHITECTURAL
ELEMENTS PRESENT IN THE FACADES OF THE CABANYAL**

Quiteria Angulo Ibáñez

*Investigador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Asociado, Arquitecto. Doctora en Arquitectura por la UPV. E-mail: quianib@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València, Assistant Professor. Architect. PhD in Architecture by the UPV.*

Paula Carabal Maestro

Arquitecto / Architect

Abstract

The present work shows traditional architectural elements of the maritime district of Cabanyal (Valencia). Currently there are rehabilitated buildings, but the vast majority of them have a poor state of conservation and need conservation. The administrations are committed to a recovery of the neighborhood through its architectural heritage. Three facades of traditional buildings are shown as examples analyzing the current pathologies, as well as a basic proposal for intervention and recovery. The entity of a neighborhood has to be maintained in large part by the traditional architectural elements that make it up.

Keywords

Material study, degradation, conservation, restoration, Cabanyal

Introducción

En este trabajo pretende poner en valor para su conservación, los elementos presentes en las fachadas del barrio declarado Bien de Interés Cultural, El Cabanyal, es necesario conocer la evolución del mismo para entender sus valores y las causas de las patologías presentes.

El barrio del Cabanyal nace en relación con el mar, y es esta proximidad a la costa la causante de que en la degradación material esté siempre presente los problemas de humedades. La construcción de la vivienda tradicional era la barraca valenciana, la cual, fue sustituyéndose poco a poco por las construcciones de ladrillo que encontramos hoy en día. A pesar de la sustitución de la barraca tradicional, se mantuvo la parcelación original, lo que hace que el barrio tenga una trama urbana tan característica. Con la construcción del puerto de Valencia en 1792, el barrio creció con el terreno ganado al mar y su población se fue consolidando. Las viviendas han sufrido y resistido a sucesos como múltiples incendios, los bombardeos de la Guerra Civil Española entre el 1936 y el 1939 o la riada del Río Turia en 1957. Las últimas décadas del siglo veinte tampoco fueron fáciles debido a problemas de delincuencia y drogas, lo que sirvió de base para la propuesta por parte de la administración de un plan urbanístico que pretendía arrasar parte del barrio para la construcción de una gran avenida hacia el mar. Toda esta época de incertidumbre y amenaza provocó un abandono del barrio, lo cual, aceleró su degradación. Los derribos y la falta de mantenimiento del barrio durante años hicieron que hoy en día nos encontremos con un patrimonio en riesgo, el cual necesita un duro trabajo de conservación y restauración para salir adelante. En el año 2015 fue derogado el plan de 2001 relativo a convertir parte del barrio en la avenida, y en sustitución se aprobó un plan especial basado en la regeneración del barrio y crear conexiones con la ciudad no destructivas, con protagonismo de zonas verdes y preferencia peatonal.

Hoy en día el barrio se encuentra en un momento de auge. Con su condición como Bien de Interés Cultural, son muchas las normativas que rigen las actuaciones que pueden o no llevarse a cabo en las fachadas de las construcciones del barrio. Gracias a las directrices que marcan estas normativas y a un estudio de los valores del barrio, junto con un estudio de patologías presentes en los materiales de las fachadas, se pretende determinar unas propuestas de conservación que puedan responder con criterio a esos valores y causas.

En cuanto a la metodología, primeramente, se identificarán los elementos arquitectónicos que están presentes en la gran mayoría de las fachadas del barrio, con el fin de conocer los componentes más representativos, que son los que le confieren la identidad al barrio y, por lo tanto, en los que debemos de poner especial atención a la hora de actuar. Posteriormente, para llevar a cabo las propuestas de conservación debemos de conocer en primer lugar el tipo de material, seguido de la patología que presenta y las causas de dicha patología y finalmente se hará una valoración a cerca de las posibles actuaciones que se pueden llevar a cabo. Debido al escaso espacio para el desarrollo de las propuestas de intervención, este trabajo solo indicará los elementos a conservar.

En las imágenes 1-6 se puede observar la evolución del barrio del Cabanyal.



Imágenes 1. Playa del Cabanyal. Fuente: Extraída de Sanchis Pallarés A. (1997) Image 1. Cabanyal beach. Source: Sanchis Pallarés A. (1997)



Imágenes 2. Playa del Cabanyal. Fuente: Google Maps Image 2. Cabanyal beach. Source: Google Maps



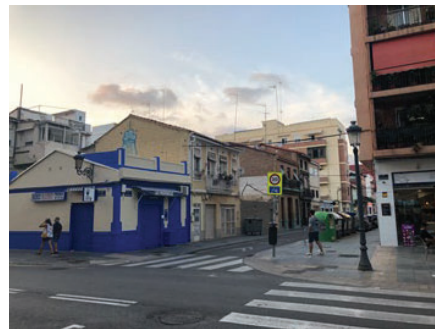
Imágenes 3. C/ Pare Lluís Navarro - Travesía Pescadores Fuente: Extraída de Sanchis Pallarés A. (1997) Image 3. Pare Lluís Navarro Street - Travesía Pescadores. Source: Sanchis Pallarés A. (1997)



Imágenes 4. C/ Pare Lluís Navarro - Travesía Pescadores Fuente: Elaboración propia. Image 4. Pare Lluís Navarro Street - Travesía Pescadores. Source: Source own elaboration



Imágenes 5. Acequia el Gas - calle progreso. Fuente: Extraída de Sanchis Pallarés A. (1997) Image 5. Acequia el Gas - progress street. Source: Sanchis Pallarés A. (1997)



Imágenes 6. Acequia el Gas. Fuente: Elaboración propia. Image 6. Acequia el Gas - progress street. Source: Source own elaboration

Composición de los elementos de las fachadas

La composición de las fachadas la podemos resumir en un esquema tradicional de base, cuerpo y remate. La base o zócalo se construye de piedra o ladrillo para mitigar los efectos de la humedad. La piedra es también el material empleado para realizar el escalón de entrada a la vivienda.

En el cuerpo de la fachada, desde la parte superior del zócalo hasta la cornisa, se emplean revestimientos continuos como pinturas o discontinuos como ladrillo cara vista o azulejos cerámicos, siendo estos últimos los más representativos del barrio. Independientemente de la solución de

revestimiento que tenga la fachada, una práctica común es la incorporación de azulejos cerámicos decorativos en la parte superior de los vanos, bajo la cornisa, en los aleros, bajo los balcones, en el zócalo o en las jambas. Estos elementos son en su mayoría exclusivos, por lo que la rotura o ausencia de alguno de ellos supone un reto para su posible sustitución. Los balcones son de forja o de fundición y cuentan en muchos casos con diseños muy trabajados que aportan riqueza a las fachadas, ya que hay de muchos tipos diferentes. Prácticamente todas las carpinterías exteriores son de madera en tonos marrones. Cuentan con contraventanas que se abren hacia el interior, rejas metálicas como protección y en algunos casos vidrio. Las normas urbanísticas obligan a seguir manteniendo la misma línea estética basada en la madera de tonalidades oscuras. En las jambas de los huecos de las plantas altas encontramos anclado a ellas un elemento metálico llamado frailer, esta pieza se encarga de ocultar y proteger la persiana exterior. En el remate superior de las fachadas, bajo la cornisa, encontramos unas perforaciones conocidas como óculos que sirven como punto de ventilación a la cubierta. Estos pueden tener o no verja metálica para proteger el interior de la entrada de objetos y animales.

Las cubiertas son principalmente inclinadas a dos aguas con revestimiento de teja curva. A pesar de ser cubiertas inclinadas, encontramos en muchos casos remates de fachada con antepechos o petos decorativos con balaustradas que ocultan el frente de la cubierta de cara a la vía pública.



Imágenes 7-13. Fachadas tradicionales del Cabanyal. Fuente: elaboración propia.

Image 7-13. Traditional facades of Cabanyal. Source own elaboration

Introduction

The aim of this work is to value for their conservation, the elements present in the facades of the neighborhood declared of Cultural Interest, El Cabanyal, it is necessary to know the evolution of the same to understand their values and the causes of the present pathologies.

The Cabanyal neighborhood was born in relation to the sea, and it is this proximity to the coast that causes the problems of humidity to always be present in material degradation. The construction of the traditional house was the Valencian barracks, which was gradually replaced by the brick constructions that we find today. Despite the replacement of the traditional barracks, the original subdivision was maintained, which makes the neighborhood have such a characteristic urban fabric. With the construction of the port of Valencia in 1792, the neighborhood grew with the land regained from the sea and its population was consolidated. The houses have suffered and resisted events such as multiple fires, the bombings of the Spanish Civil War between 1936 and 1939 or the flood of the Turia River in 1957. The last decades of the twentieth century were not easy due to crime and drug problems, which served as the basis for the proposal by the administration of an urban plan that aimed to raze part of the neighborhood for the construction of a large avenue to the sea. All this time of uncertainty and threat caused an abandonment of the neighborhood, which accelerated its degradation. The demolitions and the lack of maintenance of the neighborhood for years meant that today we find ourselves with a heritage at risk, which needs a hard work of conservation and restoration to get ahead. In 2015, the 2001 plan to convert part of the neighborhood into the avenue was repealed, and a special plan was approved to replace it based on the regeneration of the neighborhood and create non-destructive connections with the city, with the prominence of green areas and pedestrian preference.

Today the neighborhood is in a boom moment. With its status as an Asset of Cultural Interest, there are many regulations that govern the actions that may or may not be carried out on the facades of the buildings of the neighborhood. Thanks to the guidelines set by these regulations and a study of the values of the neighborhood, together with a study of pathologies present in the materials of the facades, it is intended to determine conservation proposals that can respond with criteria to these values and causes.

As for the methodology, first, the architectural elements that are present in most of the facades of the neighborhood will be identified, to know the most representative components, which are those that give the identity to the neighborhood and therefore, in which we must pay special attention when acting. Subsequently, to carry out the conservation proposals we must first know the type of material, followed by the pathology it presents and the causes of said pathology and finally an assessment will be made about the possible actions that can be carried out. Images 1-6 show the evolution of the Cabanyal neighborhood.

Composition of the elements of the facades

The composition of the facades can be summarized in a traditional scheme of base, body and finish. The base or plinth is built of stone or brick to mitigate the effects of moisture. Stone is also the material used to make the entrance step to the house.

In the body of the façade, from the top of the plinth to the cornice, continuous coatings are used as paintings or discontinuous as exposed brick or ceramic tiles, the latter being the most representative of the neighborhood. Regardless of the cladding solution of the façade, a common practice is the incorporation of decorative ceramic tiles on top of the openings, under the cornice, on the eaves, under the balconies, on the plinth or on the jambs. These elements are mostly exclusive, so the breakage or absence of any of them is a challenge for their possible replacement. The balconies are forged or cast iron and have in many cases very elaborate designs that bring richness to the facades, since there are many different types. Practically all exterior carpentry is made of wood in brown tones. They have shutters that open to the inside, metal bars as protection and in some cases glass. The urban planning regulations oblige to continue maintaining the same aesthetic line based on the wood of dark tones. In the jambs of the hollows of the upper floors we find anchored to them a metallic element called *frailero*, this piece is responsible for hiding and protecting the exterior blind. At the top of the facades,

Propuestas de conservación

Zócalos y escalones de entrada

La pieza del zócalo es un elemento muy importante, teniendo la misión de proteger a la parte inferior de la fachada contra la humedad por capilaridad. Esto, le lleva a sufrir patologías relacionadas con la misma. A la humedad se le unen los problemas de impactos, pintadas y pulido de la piedra por su ubicación y exposición a la vía pública. Cuando se trata de zócalos de piedra, esta se puede limpiar con cepillos o instrumentos de presión, devolviéndole un aspecto natural. En el caso de zócalos de ladrillo enlucidos y pintados las patologías están relacionadas con el desconchado de la pintura y las manchas de humedad, por lo que se debería de actuar tratando la superficie contra la humedad antes de reparar la capa de revestimiento continuo.

En cuanto al escalón de la puerta principal de acceso, se suele tratar de una pieza de piedra, la cual, debido de nuevo a su ubicación y exposición, presenta daños físicos a causa del tránsito que soporta. En el caso de que la pieza no sufra daños muy graves, podemos realizar una limpieza de la zona y mediante trabajos mecánicos se le puede regular la geometría y la superficie. Si el estado de deterioro de la pieza es muy avanzado procederíamos a su sustitución mediante el mismo material, ya que podemos dar por hecho su correcto funcionamiento durante tantos años.



Imágenes 14-19. Zócalos y escalones. Fuente: elaboración propia. Image 14-19. Baseboards and steps. Source own elaboration

Revestimientos cerámicos

Los azulejos cerámicos como revestimiento de las fachadas son elementos muy característicos del barrio. Por lo general se trata de piezas únicas, coloridas y con mucho carácter, por ello, la falta de este material conlleva, en parte, a una pérdida de la identidad. Encontramos casos en los que los azulejos únicamente necesitan limpieza superficial y rellenado de juntas. Por otra parte, en los casos en los que se haya desprendido piezas, se tratará de sustituirlas con elementos de las mismas técnicas, en el caso de no ser posible la obtención del mismo azulejo.



Imágenes 20-25. Revestimientos cerámicos. Fuente: elaboración propia Image 14-19. Ceramic coatings. Source own elaboration

under the cornice, we find some perforations known as oculus that serve as a ventilation point to the roof. These may or may not have a metal fence to protect the interior from the entrance of objects and animals. The roofs are mainly gabled with curved tile cladding. Despite being sloping roofs, we find in many cases façade finishes with antepets or decorative breastplates with balustrades that hide the front of the roof facing the public road. Image 7-13.

Conservation proposals

Baseboard and entrance steps

The plinth piece is a very important element, having the mission of protecting the lower part of the façade against moisture by capillarity. This leads him to suffer pathologies related to it. To the humidity are added the problems of impacts, painting, and polishing of the stone by its location and exposure to the public road. When it comes to stone baseboards, this can be cleaned with brushes or pressure instruments, giving it back a natural look. In the case of plastered and painted brick baseboards, the pathologies are related to the deking of the paint and moisture stains, so it should be acted by treating the surface against moisture before repairing the continuous coating layer.

As for the step of the main access door, it is usually a piece of stone, which, due again to its location and exposure, presents physical damage due to the traffic it supports. If the piece does not suffer very serious damage, we can clean the area and through mechanical work the geometry and surface can be regulated. If the state of deterioration of the piece is very advanced, we would proceed to replace it using the same material, since we can take for granted its correct operation for so many years. Image 14-19.

Ceramic coatings

The ceramic tiles as cladding of the facades, are very characteristic elements of the neighborhood. In general, these are unique, colorful pieces with a lot of character, therefore, the lack of this material leads, in part, to a loss of identity. We find cases in which the tiles only need surface cleaning and filling of joints. On the other hand, in cases where parts have been detached, it will be a matter of replacing them with elements of the same techniques, in the case of not being possible to obtain the same tile. Image 20-25.

Continuous cladding

The continuous cladding of the facades of the neighborhood are made of lime mortar plaster and paint. The pathology of coatings of this type are mainly the deking of paint and moisture stains. The most important step when it comes to intervening in this type of case is to get to the bottom of the problem. The paint layer should be removed from the affected areas, treating humidity with specialized products, as it can lead to serious problems for people's health. Subsequently, anti-humidity mortars are applied, which regulate the wall and increase protection. Finally, the paint is applied as a finish. Image 26-31.

Wood carpentry, glass and locksmithing

If the building retains the original wood carpentry, it must proceed to the conservation of the same, generally, by means of cleaning, sanding and varnishing techniques of the wood. The regulations say that if these original carpentries are not preserved or are not recoverable, elements that maintain aesthetics and materiality must be incorporated. As for the glasses, they must be replaced because in most cases they are damaged. As for the locksmith, it is recoverable through treatments that remove rust. Image 32-37.

Revestimiento continuo

Los revestimientos continuos de las fachadas del barrio son de revoco de mortero de cal y pintura. La patología de los revestimientos de este tipo son principalmente el desconchado de la pintura y las manchas de humedades. El paso más importante a la hora de intervenir en este tipo de casos es el de llegar al fondo del problema. Se deberá proceder a la retirada de la capa de pintura en las zonas afectadas, tratar las humedades con productos especializados, ya que puede derivar en graves problemas para la salud de las personas. Posteriormente se aplica morteros antihumedad, los cuales regulan el paramento y aumentan la protección. Finalmente, se aplica la pintura como acabado.



Imágenes 26-31. Revestimientos continuos. Fuente: elaboración propia. Images 20-25. Continuous coatings. Source own elaboration

Carpinterías de madera, vidrios y cerrajería

En el caso de que el edificio conserve las carpinterías de madera originales, de deberá proceder a la conservación de estas, generalmente, mediante técnicas de limpieza, lijado y barnizado de la madera. La normativa habla de que, si no se conservan dichas carpinterías originales o no son recuperables, se deberá incorporar elementos que mantengan la estética y materialidad. En cuanto a los vidrios, deberán de ser sustituidos debido a que en la mayoría de los casos se encuentran dañados. Por lo que hace a la cerrajería, es recuperable mediante tratamientos que eliminen el óxido.



Imágenes 32-37. Carpinterías. Fuente: elaboración propia. Images 26-31. Carpentries. Source own elaboration

Balcones y barandillas

En el caso de los elementos del voladizo del balcón, la mejor opción es la de reconstruir la bandeja del balcón con materiales que se adapten a la estética tradicional, ya que en la mayoría de los casos hay un gran riesgo de desprendimiento. En cuanto a las barandillas, al contrario que el voladizo del balcón, están hechas con materiales de buena calidad, lo que implica que en la mayoría de los casos podamos recuperar los elementos tradicionales mediante técnicas que eliminen el óxido presente en la superficie metálica y se protejan con las correspondientes pinturas.



Imágenes 38-43. Balcones y barandillas Fuente: elaboración propia Image 32-37. Balconies and railings. Source own elaboration

Balconies and railings

In the case of the elements of the balcony overhang, the best option is to rebuild the balcony tray with materials that adapt to the traditional aesthetics, since in most cases there is a great risk of detachment. As for the railings, unlike the overhang of the balcony, they are made with good quality materials, which implies that in most cases we can recover the traditional elements through techniques that eliminate the rust present on the metal surface and are protected with the corresponding paints. Image 38-43.

Roof tiles, finials and breastplates

The roof tiles have microvegetation, dirt and in some cases breakage of specific pieces. These elements can be removed for cleaning and subsequent relocation, making it a recoverable material. In the case of parts that are not, a punctual replacement will be made to ensure the correct insulation of the cover of the cover. The element of the breastplate presents pathologies according to the type of coating and the constructive technique with which it is resolved. Its correct stability must be ensured to avoid detachments, as well as the protection against falls by the reconstruction of the balustrades. The rest of the problems are related to the execution of the roof and the localized humidity, so the waterproofing of the meetings should be checked. Image 44-49.

Conclusions

To preserve the original architectural elements of a set is to preserve its identity and its essence.

Knowledge of history is essential when proposing actions on heritage, since we must know the architectural and historical values of the elements to be preserved.

The study of the causes of pathologies helps us to act with future foresight, in order to prevent these deteriorations from reappearing.

Tejas, remates y peto

Las tejas de las cubiertas presentan microvegetación, suciedad y en algunos casos roturas de piezas puntuales. Estos elementos pueden ser retirados para su limpieza y posterior recolocación, por lo que es un material recuperable. En el caso de las piezas que no lo sean, se realizará una sustitución puntual para asegurar el correcto aislamiento de la cobertura de la cubierta. El elemento del peto presenta patologías según el tipo de revestimiento y la técnica constructiva con la que esté resuelto. Se deberá de asegurar su correcta estabilidad para evitar desprendimientos, así como la protección frente a caídas por parte de la reconstrucción de las balaustradas. El resto de los problemas vienen relacionados con la ejecución de la cubierta y las humedades localizadas, por lo que se deberá comprobar la impermeabilización de los encuentros.



Imágenes 44-49. Tejas y petos. Fuente: elaboración propia. Image 38-43. Roof tiles and breastplates. Source own elaboration

Conclusiones

Conservar los elementos arquitectónicos originales de un conjunto, es conservar su identidad y su esencia. El conocimiento de la historia es esencial a la hora de proponer actuaciones sobre el patrimonio, ya que, debemos de conocer los valores arquitectónicos e históricos de los elementos a conservar. El estudio de las causas de las patologías nos ayuda a actuar con previsión futura, con el fin de evitar que vuelvan a aparecer dichos deterioros.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Benavides Solís, J. (1999). Diccionario razonado de bienes culturales /. Padilla Libros,.
- Bienes, C. D. E., Protegidos, Y. E., & Estructural, O. (2010). Bien De Interes Cultural (Bic) Área Del Cabañal : Núcleo Original Del Ensanche Del Cabañal. 1–6.
- Blanco Carranza, J. (2013). Estudios previos para propuesta de rehabilitacion energetica para viviendas y barrio de El Cabanyal-Canyamelar. 200.
- Caso, E. L., & Cabanyal, D. E. L. (2008). Nueva perspectiva del concepto de patrimonio.
- González Cordero, M. (2018). Propuesta de intervención en una vivienda en planta baja en el barrio de El Cabanyal, en Valencia. Universitat Politècnica de València.
- MARTÍNEZ CABETAS C., RICO MARTÍNEZ L. (coord.), Diccionario técnico de Akal de Conservación y restauración de bienes culturales, Akal, Madrid, 2003
- Prado Cucarella, L. (2019). La cara visible del Cabanyal: análisis compositivo y constructivo de las fachadas del Cabanyal, valorización de sus características esenciales y criterios de intervención para nuevos diseños. Universitat Politècnica de València.
- Sanchis Pallarés, A. (1997). Historia del Cabanyal : Poble Nou de la Mar (1238-1897) / Antonio Sanchis Pallarés. Javier Boronat.
- Sanchis Pallarés, A. (1998). Historia del Cabanyal : siglo XX y el incierto futuro / Antonio Sanchis Pallarés. Javier Boronat.
- Simó, T., Jarque Bayo, F., & Jarque, A. (2013). El Cabanyal: un barrio patrimonial a rehabilitar: 2013 / Texto de Trinidad Simó; fotografías de Francesc Jarque Bayo, con la colaboración de Andrés Jarque. Universitat Politècnica de València.
- Solà-Morales, I. (1998). Patrimonio arquitectónico o parque temático. Loggia, Arquitectura & Restauración.
- Villa, R. P. (2016). El Cabanyal: lecturas de las estructuras de la edificación, ensayo tipológico residencial 1900-1936 : tesis doctoral. Valencia, España: Universitat Politècnica de València.

**RECONSTRUCTION OF THE ASSUMPTION CHURCH IN CHERDYN (RUSSIA)
BASED ON INFORMATION MODELING**

**РЕКОНСТРУКЦИЯ ЦЕРКВИ УСПЕНИЯ ПРЕСВЯТОЙ БОГОРОДИЦЫ В
ЧЕРДЫНИ (РОССИЯ) НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Maksimova Svetlana Valentinovna

Head of architecture and urban planning department; Perm National Research Polytechnic University; Doctor of technical sciences; Adviser of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAASN). E-mail: svetlana-maximova@yandex.ru

Доктор технических наук, зав. кафедрой архитектуры и урбанистики Пермского Национального Исследовательского Политехнического Университета, советник Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН). E-mail: semina.ae@yandex.ru

Semina Anastasia Evgenievna

Lecturer at architecture and urban planning department; Perm National Research Polytechnic University. E-mail: semina.ae@yandex.ru

Старший преподаватель кафедры архитектуры и урбанистики Пермского Национального Исследовательского Политехнического Университета. E-mail: semina.ae@yandex.ru

Abstract

The Church of the Assumption of the Blessed Virgin Mary in Cherdyn is an object of cultural heritage. It has a traditional architectural and planning solution for Orthodox churches: it is the two-storey temple, "ship" in planimetry. In this linear structure sequentially located premises: a vestibule, a refectory, a temple, an altar. It is a one-domed church with a small figure eight. The architecture of the Assumption Church combines elements of the Russian provincial baroque (refectory, temple, apse) and late classicism (bell tower and narthex, lost in the 30s of the 20th century).

The architectural survey was carried out using terrestrial laser scanning technology. The resulting point cloud made it possible to create a three-dimensional information model, which was used to test various hypotheses and assess the results of changes and deformations.

Verification calculations of the building structures were carried out: collection of loads on brickwork and foundations, taking into account the weight of the bell tower and spire. Calculations of snow and wind loads for the vault and different surfaces of the bell tower are performed. The spire was calculated as a conditionally cylindrical surface. Calculations have shown that the current state of the building structures is efficient.

Detailed initial information about the object in the form of a point cloud made it possible to correct and supplement archival documents, to carry out the most reliable representation in the building information model. Based on the modelling results, a project was prepared for the reconstruction and restoration of the bell tower and other architectural elements which were lost during the time.

Keywords

Architectural monuments, structures, digital examination, engineering and technical measures, engineering surveys.

Введение

Чердынский район Верхнекамья является одним из древнейших и наиболее интересных по сохранности и разнообразию объектов историко-культурного наследия на Урале (Каптиков 1990). Работы по сохранению объектов культурного наследия ведутся здесь не одно десятилетие. Сохранение памятников архитектуры Чердыни – вопрос принципиальный для развития культурно-познавательного туризма в городе, как одного из важнейших факторов его дальнейшего развития и качественного преобразования, устойчивого развития его территории. В числе объектов, входящих в перечень культурного наследия Чердыни, находится церковь Успения Пресвятой Богородицы XVIII века (рисунок 1, 2, 3) (Косточкин 1988). В архитектуре Успенской церквисочетаются элементы русского провинциального барокко (трапезная, храм, апсида) и позднего классицизма (колокольня и притвор, утраченные в 30-х годах 20 века). Цель работы заключалась в создании информационной модели и разработке на ее основе проекта восстановления колокольни и притвора.

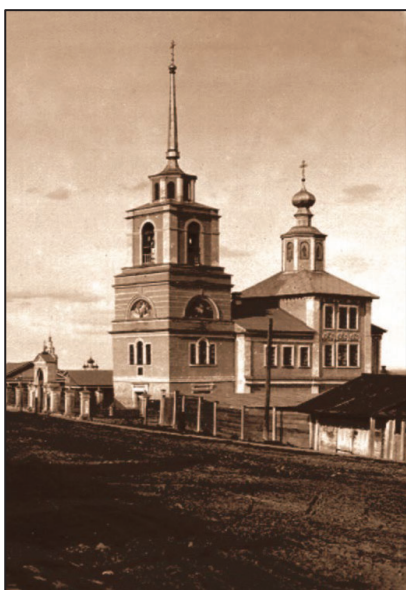


Рисунок 1. Фото здания Успенской церкви, сделанное в начале XX века
Figure 1. Photo of the Assumption Church, taken at the beginning of the XX century.
(Источник/Source:https://parmaday.ru/starinn_yegoroda/cherdyn/uspenskaya-cerkov)



Рисунок 2. Чертеж фасада здания церкви Успения с отмывкой
(Источник: Архив города Чердыни)
Figure 2. Drawing of the facade of the Church of the Assumption (Source: Archive of the city of Cherdyn).



Рисунок 3. Успенская церковь в 2021 г.
Figure 3. Assumption Church, 2021.



Рисунок 4. Облако точек, Успенская церковь.
Figure 4. Point cloud, Assumption Church.

Introduction

One of the oldest area in Upper Kama region is Cherdyn district. This is the place among the most interesting in terms of heritage preservation and diversity of objects of historical and cultural heritage of the Urals (Kaptikov 1990). Heritage preservation work has been carried out here for more than one decade. The preservation of Cherdyn's monuments is an issue for the cultural and educational tourism development, as one of the most important factors in its growth, qualitative transformation, and sustainable development of its territory. The Church of the Assumption of the Blessed Virgin Mary included in the cultural heritage list of Cherdyn. It was built in the 18th century (Figure 1, 2, 3) (Kostochkin 1988). The purpose of the work was to develop an informational model and develop a project for the restoration of the bell tower and the narthex.

Research methods

In this research applied a comprehensive methodology of the traditional and modern methods combination: perceptual analysis, analysis of the historical, archival and bibliographic documents, traditional architectural field measurements, terrestrial laser scanning (Leica ScanStation C10), and engineering surveys of load-bearing and enclosing building structures (Parrinello 2020). To obtain the initial data for structural calculations, the following procedures and studies were carried out:

- visual assessment of the technical condition of foundations, walls, roofs;
- determination of the actual strength of the walls brickwork for the providing verification calculation, taking into account the additional load of the bell tower;
- determination of the actual dimensions of the basement under the narthex;
- type and condition of the foundation soil assessment under the basement.

The terrestrial laser scanning results were also used as a basis for informational modeling of the reconstructed bell tower carried out in the GRAPHISOFT ArchiCAD. The point cloud (in the format .e57) exported from Leica Cyclone was imported as a virtual background into ArchiCAD (Maksimova 2021). Detailed and high-quality initial information about the research object in the form of a point cloud model allowed the most reliable information models of the building (Figure 4). The horizontal and vertical sections were obtained as a result of the graphic processing of the hardware-extracted geometry of the point cloud section (Figure 5). It allowed specifying the angular and all linear dimensions in the complex.

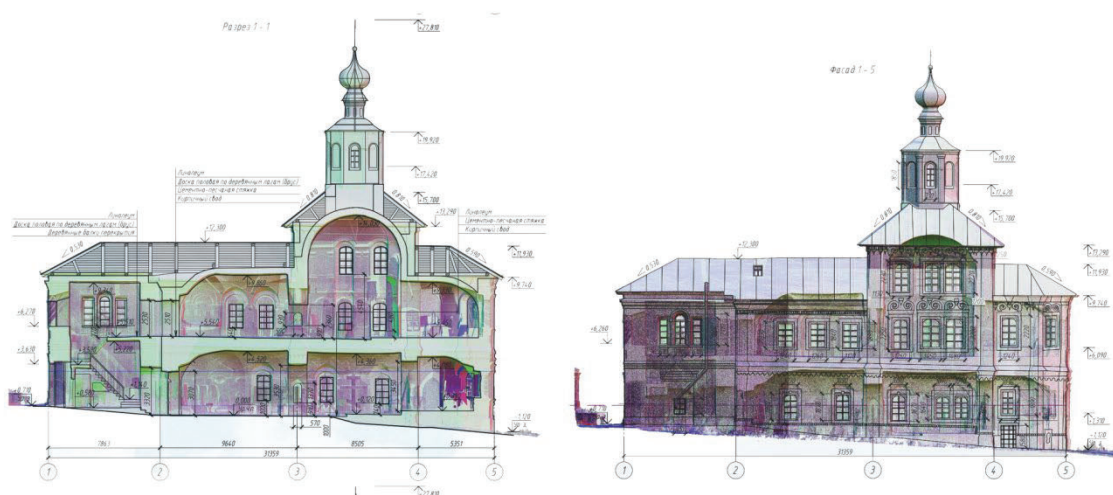


Рисунок 5. Извлечение геометрии из облака точек.
Figure 5. Extracting geometry from a point cloud.

Методы исследования

В настоящей работе применена комплексная методология исследования, сочетающая традиционные и современные методы: перцептивный анализ, документальный анализ историко-архивных и библиографических материалов, традиционные архитектурные натурные обмеры, наземное лазерное сканирование (Leica ScanStation C10), инженерно-технические исследования несущих и ограждающих строительных конструкций (Parrinello 2020). Для получения исходных данных для конструктивных расчетов проводились следующие процедуры и исследования:

- визуальная оценка технического состояния фундаментов, стен, крыши;
- определение фактической прочности кирпичной кладки стен здания для проведения проверочного расчета с учетом дополнительной нагрузки от колокольни;
- определение фактических размеров фундамента под притвором;
- оценка типа и состояния грунта основания под подошвой фундамента.

Результаты наземного лазерного сканирования также использованы в качестве подосновы для информационного моделирования реконструируемой колокольни храма в GRAPHISOFT Archicad. Для этого облако точек в формате e57, выгруженное из Leica Cyclone, было импортировано, как виртуальная подложка в ArchiCAD (Maksimova 2021). Детальная, качественная исходная информация об объекте исследования в виде облачной модели позволила выполнить максимально достоверные построения информационной модели здания. Горизонтальные и вертикальные сечения, выполненное в результате графической доработки аппаратно-извлеченной геометрии сечения облака точек, позволило уточнить как угловые, так и все линейные размеры в комплексе (Рисунок 5).

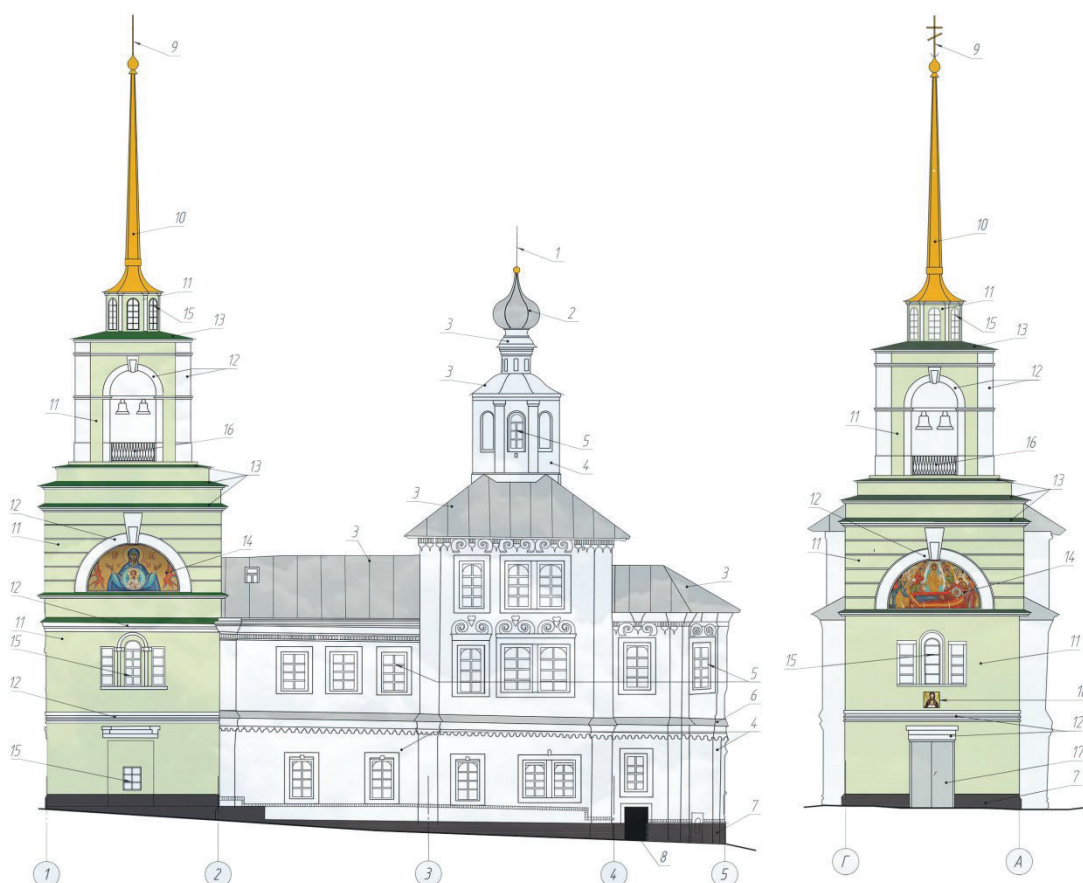


Рисунок 6. Реконструкция фасадов церкви. Восстановление колокольни и притвора.
Figure 6. Reconstruction of the facades of the church. Restoration of the bell tower and narthex.

General characteristics of the architecture of the church

Originally wooden church of the Assumption of the Blessed Virgin Mary was built in Cherdyn at the beginning of the 17th century. It was and was part of a convent, which was closed in 1764. The new stone church was rebuilt after a fire in 1784 and it has survived till nowadays. In 1845-1856 the bell tower with a narthex was added to the church. In 1884 it was reconstructed. In the 1930s the octagonal dome and the bell tower were destroyed. The existing frescoes in the building with gospel themes and ornamental motives were preserved under decoration and were opened in 2000. In this church the museum's archive and library are located since 1976. Then the building was transferred to the Museum of the Orthodox Faith (Chagin 2004).

The Church of the Assumption has a traditional architecture for Orthodox churches: a two-story "ship"-form church with linear plan: a narthex, a refectory, a temple, an altar. The space and planning composition is also traditional: an octagon on a quadrangle, a pentahedral apse. The temple part is completed with a single dome. The entrance to the building is through the narthex above which the lost bell tower was located (Code of practice 31-103-99).

The bell tower with a belfry was higher-up two tiers from the top of the narthex. It was completed by a low octagon with a high spire. According to archival drawings the height of the bell tower from the floor level of the first floor of the church was 37, 738 meters (Karapetyan 2003).

The constructive solution of the church is the single-nave and pillarless (a structural wall system with longitudinal external and transverse internal load-bearing walls). The vaults and arches are based on the internal transverse and external load-bearing walls. The rigidity of the building is provided by the load-bearing walls and vaulted ceilings.

The bell tower is designed as a four-tiered volume, which ending with a spire. This part of the church is performed in the late classicism architectural style. The constructive system of the bell tower is frameless with bearing brick walls. The geometrical characteristics of the bell tower were taken from archival materials (P.P. Karapetyan and O.V. in 2003 (Karapetyan 2003).

Case study: Reconstruction of the bell tower and the narthex

The original architecture of the temple was restored based on the historical and archival research, as well as terrestrial laser scanning (Figure 6).

The relevant materials were selected for the development of the project for the reconstruction of the bell tower and the narthex (Table 2). After that, the loads on the load-bearing structures of the walls and the foundation were collected taking into account the geotechnical conditions and climatic conditions (Table 1). The verification calculations of the building structures were performed based on this data (Olen'kov 2012).

Таблица 1. Сбор нагрузок для расчета стены притвора
Table 1. Collecting loads for calculating the narthex wall

Нагрузки/ Loads	Ед.изм/ Units	Нормативные нагрузки/ Standard loads		Расчётные/ Calculated	
Постоянные/ Permanent					
Вес кладки колокольни/ Bell tower masonry weight	Тонн/ Tonns	517,80	1,10	569,58	
Вес шпиля/ Spire weight		0,59	1,05	0,62	
Вес колоколов и балок под колокола/ Bells and bell beams weight		1,6	1,05	1,68	
Вес прочих материалов/ Other materials weight				2,00	
Итого/Total					573,88
Временные/ Temporary					
Снеговая/Snowy				6,70	
Полезная нагрузка на перекрытие/ Floor payload		8,133	1,2	9,7596	
Итого/Total				16,46	

Таблица 2. Материалы для реконструкции здания
Table 2. Materials for the reconstruction of the building

Конструкция/ Construction	Материал/Material
Наружные стены колокольни Bell tower exterior walls	Керамический реставрационный полнотелый кирпич старого образца марки М150 на цементно-песчаном растворе марки М100 (ГОСТ Р 57337-2016), цвет RAL 120 90 20. 1550 mm Ceramic restoration solid brick of the old model, M150, on a cement-sand mortar M100 (GOST R 57337-2016), color RAL 120 90 20, 1550 mm
Сводчатые перекрытия колокольни Bell tower vaulted ceilings	Кирпичный реставрационный керамический кирпич полнотелый старого образца марки М150 на цементно-песчаном растворе марки М100 (ГОСТ Р 57337-2016) 403-681 mm Brick restoration full-bodied ceramic brick of the old model of the M150 brand on a cement-sand mortar of the M100 brand (GOST R 57337-2016) 403-681 mm
Стальные связи сводов (затяжки) Steel ties of vaults	Прокат стальной горячекатаный полосовой (ГОСТ 103-2006) 20x60 mm Hot-rolled steel strip (GOST 103-2006) 20x60 mm
Крыша/Roof	
Стропила и обрешетка Rafters and lathing	Брус, доска (ГОСТ 8486-86) Bar, board (GOST 8486-86)
Кровля Roofing	Оцинкованная кровельная сталь, цвет RAL 140 30 40 (ГОСТ 14918-80) Galvanized roofing steel, color RAL 140 30 40 (GOST 14918-80)
Лестница на звонницу Staircase to the belfry	Металлическая винтовая лестница с поручнем шириной не менее 0,8 м. (ГОСТ 8486-86) Metal spiral staircase with a handrail at least 0.8 m wide. (GOST 8486-86)
Балки для подвески колоколов Beams for hanging bells	Металлические, обшитые деревом, для гашения вибрационных нагрузок Metal sheathed with wood for damping vibration loads
Ограждения проемов колокольни Fencing bell tower openings	Чугунные индивидуального изготовления высотой 1,0-1,2 м, цвет RAL 9011(графитно-черный) Custom-made cast iron 1.0-1.2 m high, color RAL 9011 (graphite black)
Помост звонаря Bell ringer's platform	Деревянный/ wooden
Колокола/ bells	Большие (благовестники) – 2 шт., средние (подзвонные) – 2 шт. и малые (завонные) – 2 шт. (всего – 6 шт.) Large (evangelists) - 2, medium (sub-ring) - 2 and small. total – 6.
Шпиль/ Spire	Сталь с покрытием нитрида титана, цвет по RAL 1003 Titanium nitride coated steel, color RAL 1003
Маленькая главка с крестом Small dome with a cross	Сталь с покрытием нитрида титана, цвет по RAL 1003 Titanium nitride coated steel, color RAL 1003
Полуциркульные ниши (второго яруса колокольни) наружные Semicircular niches (of the second tier of the bell tower), external	Иконы масляной краской Oil paint icons
Отделка стен Wall decoration	Цементно-известковый раствор толщиной от 20 мм, Известковый раствор толщиной от 20 мм, цвет RAL 9010 (белый) Cement-lime mortar from 20 mm thick, Lime mortar from 20 mm thick, color RAL 9010 (white)
Отделка потолков Ceiling decoration	Цементно-известковый раствор толщиной от 20 мм; Известковый раствор толщиной от 20 мм, цвет RAL 9010 (белый) Cement-lime mortar with a thickness of 20 mm; Lime mortar from 20 mm thick, color RAL 9010 (white)
Фартуки и отливы по фасаду Outside sill, drop apron	Оцинкованная кровельная сталь, цвет RAL 140 30 40 (ГОСТ 14918-80) Galvanized roofing steel, color RAL 140 30 40 (GOST 14918-80)

Общая характеристика архитектуры церкви

Церковь Успения Пресвятой Богородицы появилась в Чердыни в начале 17 века. Первоначально она была деревянной и входила в состав женского монастыря, который был закрыт в 1764 году. Новая каменная церковь, дошедшая до наших дней, была воссоздана после пожара в 1784 году. Колокольня с притвором были пристроены к зданию позднее, в 1845-1856 годах, а в 1884 году реконструированы. В 1930-х годах глава с восьмериком и колокольня были разрушены. Существующие в здании фрески с евангельскими сюжетами и орнаментальными мотивами сохранились под отделкой и были открыты в 2000 году. С 1976 года в нем функционировали архив и библиотека музея, затем здание передали музею православной веры (Чагин 2004).

Успенская церковь имеет традиционное для православных храмов архитектурно-планировочное решение: двухэтажный храм «кораблем» с последовательно расположенными помещениями: притвор, трапезная, храм, алтарь. Объемно-планировочное решение также традиционно: восьмерик на четверике, пятигранная апсида. Храмовая часть увенчана единственной главой. Вход в здание осуществляется через помещение притвора, над которым была расположена утраченная колокольня (СП 31-103-99).

Колокольня со звонницей поднималась на два яруса от верха притвора и заканчивалась низким восьмериком с высоким шпилем. Высота колокольни от уровня пола первого этажа здания по архивным чертежам, составляла 37,738 метров (Карапетян 2003).

По конструктивному решению - храм однефный, бесстолпный (конструктивная система стеновая с продольными наружными и поперечными внутренними несущими стенами.), своды и арки опираются на внутренние поперечные и наружные несущие стены. Жесткость здания обеспечивается жесткостью несущих стен и сводчатых перекрытий.

Колокольня решается как четырех-ярусный объем, завершающийся шпилем, в архитектурном стиле поздний классицизм. Конструктивная система колокольни есть бескаркасная с несущими кирпичными стенами. Геометрические характеристики колокольни приняты по архивным материалам (Карапетян 2003).

Case study: Реконструкция колокольни и притвора

На основании историко-архивных исследований и наземного лазерного сканирования была восстановлена первоначальная архитектура храма (рисунок 3).

Для разработки проекта реконструкции колокольни и притвора были подобраны соответствующие материалы (табл. 1), а затем с учетом инженерно-геологических условий и климатических условий произведен сбор нагрузок на несущие конструкции стен и фундамент (табл. 2) и выполнены проверочные расчеты конструкций здания (Оленьков 2012).

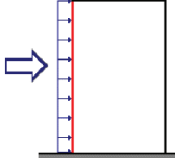
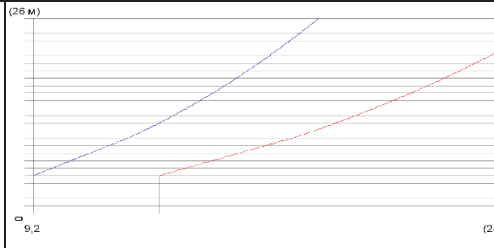
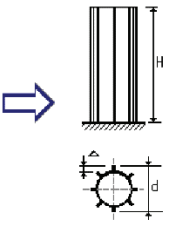
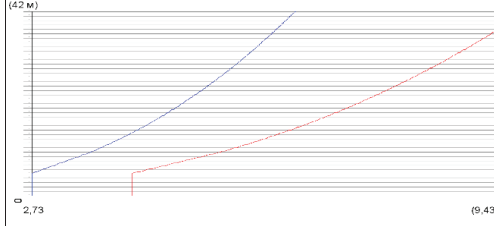
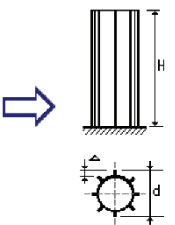
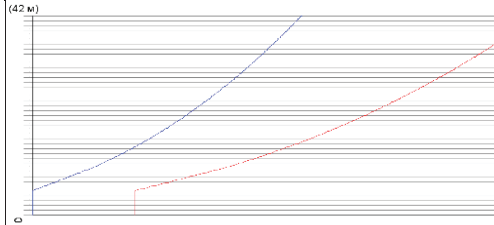
Ветровая нагрузка вычислена для разных поверхностей колокольни в программном комплексе SCAD (приложение West). Расчетные схемы и эпюры давления от ветровой нагрузки приведены в табл. 4.

Нагрузка на стены притвора действует до высоты 10,6 м как распределенная по поверхности ($\text{кг}/\text{м}^2$), а ветровые нагрузки на колокольню создают в ней крутящий момент. Запас несущей способности стен притвора составляет 56,5%.

Для проверочных расчетов фундаментов в программе «Фундамент», версия 13.3. В качестве грунтов основания принят залегающий до глубины 4 м – песок средней крупности, насыщенный водой средней плотности и плотный. Удельное сопротивление песка под конусом зонда изменяется от 0,12 до 14,04 Модуль $E = 39000$ [98]. Установившийся уровень грунтовых вод составляет 3,5 м от уровня земли.

Таблица 3. Расчетные схемы и эпюры давления на колокольню от ветровых нагрузок с наветренной стороны

Table 3. Design schemes and pressure diagrams on the bell tower from wind loads from the windward side

Тип сооружения Type of the construction		Расчетная схема Calculation scheme	Эпюры давления, кг/м Pressure plots, kg / m
Притвор Narthex	Вертикальные и отклоняющиеся от вертикальных не более чем на 15° поверхности До высоты 26 м – для плоской поверхности Vertical and deviating from vertical by no more than 15 ° surfaces Up to a height of 26 m - for a flat surface		
Восьмерик Octagonal structure	Вытянутые сооружения и элементы с цилиндрической поверхностью Elongated structures and elements with a cylindrical surface		
Шпиль Spire			

The wind load was calculated for different surfaces of the bell tower in the SCAD software package (West application). Design schemes and pressure diagrams from wind load are given in table 3.

The load on the walls of the narthex valid until 10.6 m height as distributed over the surface (kg/m^2). Wind loads on the bell tower create a torque in it. The reserve of the bearing capacity of the walls of the narthex is 56.5%.

The verification calculations of foundations were carried out in the program “Foundation” version 13.3. The foundation soil is the sand of medium size lie down to a depth of 4 m, saturated with water of medium density and dense. The sand resistivity under the probe cone varies from 0.12 to 14.04 Modulus $E = 39000$ [98]. The steady-state groundwater level is 3.5 m below ground level.

Результаты расчета фундамента (СП 22.13330.2011):

Осадка основания $S = 16,81$ мм.

Крен фундамента в направлении оси $X = 0,0007$.

Крен фундамента в направлении оси $Y = 0$.

Нижняя граница сжимаемой толщи (считая от подошвы) (H_c) 7,1 м.

Расчет осадки выполнялся по схеме линейно-деформируемого полупространства.

Несущая способность фундаментов обеспечена. Запас составляет 72%.

Конструирование восстанавливаемого кирпичного свода над притвором выполнено в соответствии с геометрическими характеристиками (стрелой подъема свода, шириной опорного контура) (рисунок 7). Свод конструируется как сомкнутый (рисунок 8). Рабочая схема сомкнутого свода, рассматривалась как система элементарных полуарок, образующих лотки и передающих распор в условные диагональные ребра свода. Полуарки передают распор и грузовое давление на опорный контур свода (СП 15.13330.2020). Расчет сомкнутого свода, таким образом, заключается в расчете и конструировании следующих конструктивных элементов:

- лотков, в том числе элементарных или условных укрупненных полуарок;
- диагональных арок (ребер);
- опорного контура свода.

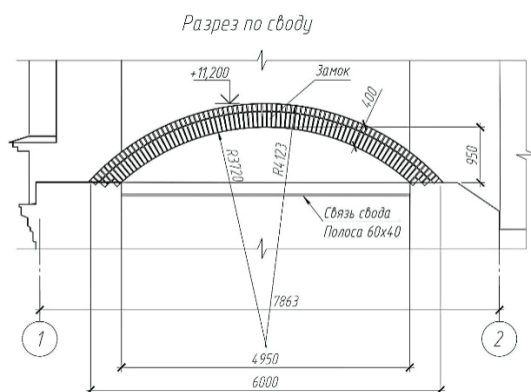


Рисунок 7. Разрез по своду.
Figure 7. Vault section.

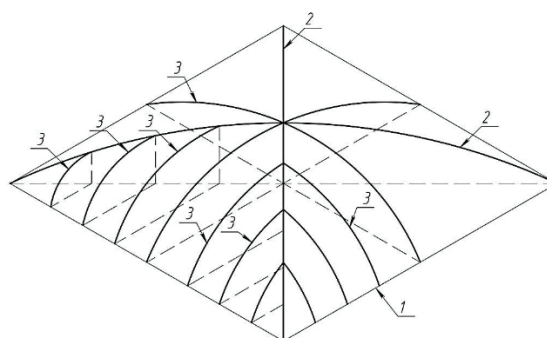


Рисунок 8. Схема сомкнутого свода:
1 – опорный контур, 2 – диагональные арки (ребра), 3 – элементарные полуарки лотков.
Figure 8. The closed vault scheme: 1 - support contour, 2 - diagonal arches (ribs), 3 - elementary semi-arches of trays.

Проверка сечения арки производится как внецентренно-сжатого элемента [1]:

$$N \leq \varphi R A c \quad [1]$$

Где:

φ – коэффициент продольного изгиба, в зависимости от гибкости элемента, 0,95;

R – расчетное сопротивление кладки сжатию, (СП 20.13330.2016).

Кирпич и раствор для свода приняты марок М150 и М100, соответственно.

$R = 22,42$ кг/см².

$7150 \leq 0,95 * 600 * 22,42 = 12779,4$

Так как условие выполняется, сечение свода достаточно для восприятия проектных нагрузок.

Таблица 4. Нагрузки на свод.
Table 4. Vault loads.

Наименование/Name	Норм. значение Standart	γ_f	Расчетное значение Estimated value
Кладка свода/ Vault masonry: $t=400$ мм, $\rho=1800$ кг/м ³	720 кг/м ² kg / m ²	1,1	792 кг/м ² kg / m ²
Штукатурный слой/ Plaster layer $t=40$ мм, $\rho=1800$ кг/м ³	72 кг/м ² kg / m ²	1,2	86,4 кг/м ² kg / m ²
Временная на свод/ Temporary vault	70 кг/м ² kg / m ²	1,3	91 кг/м ² kg / m ²
Стальная лестница (укрупненно)/ Steel ladder (enlarged)	800 кг/кг	1,05	840 кг/кг
Временная на лестницу/ Temporary on staircase S= 10 м ²	4000 кг/кг	1,2	4800 кг/кг

Foundation calculation results (Code of Practice 22.13330.2011):

Basement draft $S = 16.81$ mm.

Foundation roll in the direction of the X axis = 0.0007.

Foundation roll in the direction of the Y axis = 0.

The lower boundary of the compressible thickness (counting from the basement) (H_c) = 7.1 m.

The draft calculation was carried out according to the scheme of a linearly deformed half-space.

The bearing capacity of the foundations is ensured. The stock is 72%.

The construction of the restored brick vault over the narthex was carried out in accordance with the geometric characteristics (rise of the vault, the width of the supporting contour) (Figure 7). The vault is designed as closed (Figure 7). The calculating scheme of a closed vault was considered as a system of elementary semi-arches that form trays and transmit the thrust to the conditional diagonal ribs of the vault. The half arches transmit the thrust and load pressure to the support contour of the arch. (Code of Practice 15.13330.2020)

Therefore the calculation of a closed vault lies in the calculation and design of the following structural elements:

- trays, including elementary or conventional enlarged semi-arches;
- diagonal arches (ribs);
- supporting contour of the arch.

Checking the section of the arch is performed as an eccentrically compressed element [1]:

$$N \leq \varphi R A_c \quad [1]$$

Where:

φ is the coefficient of longitudinal bending, depending on the flexibility of the element, 0.95;

R is the design resistance of the masonry to compression (Code of Practice 20.13330.2016).

Brick and mortar for the vault are accepted, respectively, of the M150 and M100 brands.

$$R = 22.42 \text{ kg / cm}^2. \quad 7150 \leq 0.95 * 600 * 22.42 = 12779.4$$

Since the condition is right, the section of the vault is sufficient to accommodate the design loads.

Заключение

Информация, полученная с помощью лазерного сканирования, позволила зафиксировать текущее состояние Успенской церкви в Чердыни, создать ее трехмерную дискретную модель, и скорректировать информацию, содержащуюся в архивных и правоустанавливающих документах, подготовить исходные данные для проекта реконструкции. Детальная, качественная исходная информация об объекте исследования в виде облачной модели позволила выполнить максимально достоверные построения информационной модели здания. Полученные результаты позволили провести виртуальную реконструкцию церкви и провести проверку несущей способности существующих конструкций для проведения дальнейших восстановительных работ.

Conclusion

The information obtained using terrestrial laser scanning made it possible to record the current state of the Assumption Church in Cherdyn, create its three-dimensional discrete model, and correct the information contained in archival and other documents. It allowed preparing initial data for the reconstruction project. The form of a point cloud model gives a possibility to perform the most reliable information model of the building. The obtained results permit the conduction a virtual reconstruction of the church and to check the bearing capacity of the existing structures for further restoration work.

БИБЛИОГРАФИЯ

- Косточкин ВВ Чердынь, Соликамск, Усолье, Москва, 1988.
- Каптиков А.Ю Каменное зодчество русского Севера, Вятки и Урала XVIII в.: проблема региональных школ, Свердловск, 1990. 184 с.
- Карапетян ПП Эскизный проект восстановления колокольни Успенской церкви г. Чердынь, *ЧП Архитектурная мастерская Карапетян П.П. и О.В.*, 2003 г
- Оленьков ВД, Попов ДС Автоматизация диагностики технического состояния зданий и сооружений в процессе их эксплуатации *Электронный научный журнал «Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2012. №17. С. 82-85 Режим доступа: <https://vestnik.susu.ru/building/article/view/791> (дата обращения: 08.06.2019).
- Чагин ГН Города Перми Великой Чердынь и Соликамск, 2004. 256 с.
- Maksimova S, Shamarina A , Semina A Digital Survey and Information Modelling Application Experience for the Historical and Cultural Heritage *Lecture Notes in Networks and Systems* Vol. 342 P. 927-935
- Parrinello S, Dell'Amico A From Survey to Parametric Models: HBIM Systems for Enrichment of Cultural Heritage Management. *From Building Information Modelling to Mixed Reality. Springer Tracts in Civil Engineering. Cham: Springer*, 2020
- СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции
- СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия
- СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений

BIBLIOGRAPHY

- Kostochkin VV Cherdyn', Solikamsk, Usol'e Moscow, 1988.
- Kaptikov AYu Kamennoe zodchestvo russkogo Severa, Vyatki i Urala XVIII v.: problema regional'nyh shkol, *Sverdlovsk*, 1990. 184 p.
- Karapetyan PP Eskiznyj proekt vosstanovleniya kolokol'ni Uspenskoj cerkvi Cherdyn', *Arhitekturnaya masterskaya Karapetyan P.P. i O.V.*, 2003
- Olen'kov VD, Popov DS Avtomatizaciya diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy i sooruzhenij v processe ih ekspluatatsii *Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Vestnik YUUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arhitektura»*. 2012. №17. S. 82-85 URL: <https://vestnik.susu.ru/building/article/view/791> (accessed: 08.06.2019).
- Chagin GN Goroda Permi Velikoj Cherdyn' i Solikamsk, 2004. 256 p.
- Maksimova S, Shamarina A , Semina A Digital Survey and Information Modelling Application Experience for the Historical and Cultural Heritage *Lecture Notes in Networks and Systems* Vol. 342 P. 927-935
- Parrinello S, Dell'Amico A From Survey to Parametric Models: HBIM Systems for Enrichment of Cultural Heritage Management. *From Building Information Modelling to Mixed Reality. Springer Tracts in Civil Engineering. Cham: Springer*, 2020
- Code of Practice 15.13330.2020 Masonry and reinforced masonry structures
- Code of Practice 20.13330.2016 Loads and actions
- Code of Practice 22.13330.2011 Soil bases of buildings and structures

LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO A TRAVÉS DE HBIM

THE CONSERVATION OF THE ARCHITECTURAL HERITAGE THROUGH HBIM

Jorge Luis García Valdecabres

Investigador en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrito al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular de Universidad, Doctor Arquitecto. E-mail: jgvallde@ega.upv.es

Concepción López González

Investigadora en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrita al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Catedrática de Escuela Universitaria, Doctora Arquitecta. E-mail: mlopezg@ega.upv.es

Luis Cortés Meseguer

Investigador en el Centro de Investigación de Tecnología de la Edificación y adscrito al Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Contratado Doctor Arquitecto. E-mail: luicorme@upv.es

Antonio Galiano Garrigós

Investigadora en el Pensamiento Gráfico y Narrativa Arquitectónica (PenGraNA) y adscrito al Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universidad de Alicante; Carretera San Vicente del Raspeig s/n, 03690 San Vicente del Raspeig – Alicante, España. Profesor Contratado Doctor Arquitecto. E-mail: antonio.galiano@ua.es

Resumen

La presente aportación forma parte de los trabajos de investigación del proyecto I+D titulado: “Análisis y desarrollo de la integración HBIM en SIG para la creación de un protocolo de planificación turística del patrimonio cultural de un destino (PID2020-119088RB-I00) del Ministerio de Ciencia e Innovación. En el que se estudia en el ámbito de la Gestión Pública del patrimonio la incidencia, tanto del Medio Ambiente, como de la Visita Pública en las tareas para lograr un Mantenimiento Preventivo eficaz y sostenible de los bienes culturales.

En esta investigación se pretende identificar el marco teórico que comprende la Conservación Preventiva (CP), así como, los aspectos más vulnerables del patrimonio y su relación con la Sostenibilidad, la Gestión del Patrimonio y en especial las actividades propias de la Visita Pública. A tenor, la Gestión del Patrimonio se lleva a cabo por equipos multidisciplinares, si bien, en muchos casos se producen disfunciones y falta de previsión. La metodología BIM se muestra como el instrumento que asiste a solucionar una parte de las dificultades reseñadas.

La primera aportación, la gestión documental, de los periodos constructivos del bien edilicio, así como, las tareas inherentes a la tutela como son la gestión del conocimiento, la configuración y seguimiento de la historia clínica, así como, la manifestación patológica en el modelo HBIM. La segunda aportación concierne al diseño y al desarrollo de los modelos 3D vinculadas a las plataformas de gestión de la información. La tercera se corresponde con las labores propias de la conservación y del uso, y de cómo estas, inciden condicionando en el diseño de un PC sostenible en el conjunto de aspectos, desde el ahorro energético, el aprovechamiento de los recursos, el conocimiento, la interpretación y difusión de los valores de los bienes. Y en cuarto y último lugar se trata sobre por qué la metodología HBIM es la más apropiada para gestionar la CP y administración de los bienes culturales de manera eficiente.

Palabras Clave

Mantenimiento Prevención, Visita Pública, HBIM, Conservación, Tutela, Patrimonio Arquitectónico.

Summary

This contribution is part of the research work of the R&D project entitled: “Analysis and development of the HBIM integration in GIS for the creation of a tourist planning protocol of the cultural heritage of a destination (PID2020-119088RB-I00) of the Ministry of Science and Innovation. In which the impact of both the Environment and the Public Visit in the tasks to achieve an effective and sustainable Preventive Maintenance of cultural assets is studied in the field of Public Heritage Management.

This research aims to identify the theoretical framework that includes Preventive Conservation (CP), as well as the most vulnerable aspects of heritage and its relationship with Sustainability, Heritage Management and especially the activities of the Public Visit. Accordingly, Asset Management is carried out by multidisciplinary teams, although in many cases there are dysfunctions and lack of foresight. The BIM methodology is shown as the instrument that helps to solve a part of the difficulties outlined.

The first contribution, the documentary management, of the construction periods of the building asset, as well as the tasks inherent to guardianship such as knowledge management, the configuration and monitoring of the clinical history, as well as the pathological manifestation in the model HBIM. The second contribution concerns the design and development of 3D models linked to information management platforms. The third corresponds to the tasks of conservation and use, and how these affect the design of a sustainable PC in all aspects, from energy saving, use of resources, knowledge, interpretation, and dissemination of property values. And fourthly and lastly, it is about why the HBIM methodology is the most appropriate to manage the CP and administration of cultural assets efficiently.

Keywords

Prevention Maintenance, Public Visit, HBIM, Conservation, Guardianship, Architectural Heritage.

Introducción

La presente aportación forma parte de los trabajos de investigación del proyecto I+D titulado: “Análisis y desarrollo de la integración HBIM en SIG para la creación de un protocolo de planificación turística del patrimonio cultural de un destino (PID2020-119088RB-I00) del Ministerio de Ciencia e Innovación. En el que se estudia en el ámbito de la Gestión Pública del patrimonio la incidencia, tanto del Medio Ambiente, como de la Visita Pública en las tareas para lograr un Mantenimiento Preventivo eficaz y sostenible de los bienes culturales.

En esta investigación se pretende identificar el marco teórico que comprende la Conservación Preventiva (CP), así como, los aspectos más vulnerables del patrimonio y su relación con la Sostenibilidad, la Gestión del Patrimonio y en especial las actividades propias de la Visita Pública. A tenor, la Gestión del Patrimonio se lleva a cabo por equipos multidisciplinares, si bien, en muchos casos se producen disfunciones y falta de previsión. La metodología BIM se muestra como el instrumento que asiste a solucionar una parte de las dificultades reseñadas.

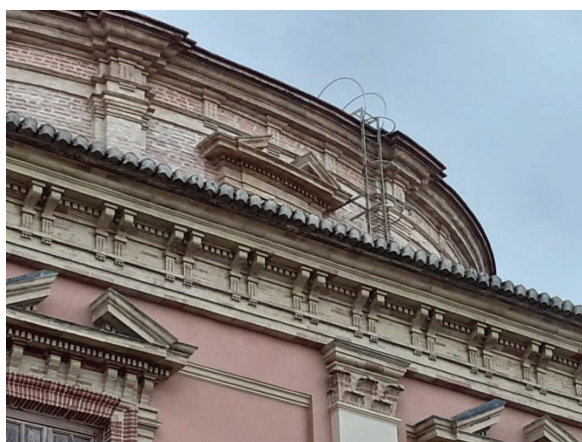


Imagen 1. Vista exterior del tambor de la cúpula de la Basílica de la Virgen de los Desamparados. Autor Propia
Image 1. Exterior view of the drum in the dome of the Basilica of the Virgen de los Desamparados. Own Author

El campo y los conceptos objeto del estudio

La tutela y la conservación sostenible de los bienes de carácter edilicio supone una apuesta de la agenda 2030 (Informe ODS Naciones Unidas, 2020), acometer esta tarea con determinación es inaplazable para las comunidades y sociedades verdaderamente comprometidas con el patrimonio. La Carta de Atenas de 1931 es clara y determinante al afirmar que la mejor garantía para la conservación de los monumentos viene del afecto y el respeto por parte de las personas. A la vez, aconseja destinar los bienes patrimoniales a una función útil para la sociedad. Asimismo, otras cartas internacionales confirman esta propuesta al afirmar que el uso público refuerza los vínculos entre la sociedad y el monumento promoviendo el interés social por su conservación.

La Carta Europea sobre el urbanismo de 1992 en el artículo 3.5 manifiesta que:

Una ciudad sin su pasado es como un hombre sin memoria. Las personas dejan huellas de su vida y de su trabajo y de su historia personal en las ciudades, en forma de barrios, edificios, árboles, iglesias, bibliotecas. Ellos constituyen la herencia colectiva del pasado, permitiendo a la gente sentir una sensación de continuidad en sus vidas actuales y prepararse para el futuro. (...)

Entre estos bienes son los bienes edilicios de carácter patrimonial los que nos transmiten a través de las huellas de sus fábricas la memoria del legado receptor y compromiso de identidad para las personas de custodiarlo y transmitirlo a las nuevas generaciones.

La gestión de visitantes va dirigida a proteger los recursos patrimoniales de los daños de estos y lograr la satisfacción de estos. Para alcanzar ambos objetivos, surge la necesidad de definir los estándares de control para planificar el número y cantidad de visitas y personas. (García-Hernández, M. y De la Calle Vaquero, M. 2004)

Introduction

This contribution is part of the research work of the R&D project entitled: “Analysis and development of the HBIM integration in GIS for the creation of a tourist planning protocol of the cultural heritage of a destination (PID2020-119088RB-I00) of the Ministry of Science and Innovation. In which the impact of both the Environment and the Public Visit in the tasks to achieve an effective and sustainable Preventive Maintenance of cultural assets is studied in the field of Public Heritage Management.

This research aims to identify the theoretical framework that includes Preventive Conservation (CP), as well as the most vulnerable aspects of heritage and its relationship with Sustainability, Heritage Management and especially the activities of the Public Visit. Accordingly, Asset Management is carried out by multidisciplinary teams, although in many cases there are dysfunctions and lack of foresight. The BIM methodology is shown as the instrument that helps to solve a part of the difficulties outlined.



Imagen 2. Cabal cavia que une la Basílica de la Virgen con la Catedral de Valencia. Autor Propia. Image 2. Exterior view of the drum in the dome of the Basilica of the Virgen de los Desamparados. Own author.

The field and the concepts under study

The protection and sustainable conservation of building assets is a commitment to the 2030 agenda (United Nations SDG Report, 2020), undertaking this task with determination cannot be postponed for communities and societies truly committed to heritage. The Athens Charter of 1931 is clear and decisive in stating that the best guarantee for the conservation of monuments comes from the affection and respect on the part of the people. At the same time, it advises to allocate patrimonial assets to a useful function for society. Likewise, other international letters confirm this proposal by stating that public use reinforces the links between society and the monument by promoting social interest in its conservation.

The 1992 European Charter on urban planning in article 3.5 states that:

A city without its past is like a man without memory. People leave traces of their life and their work and their personal history in cities, in the form of neighborhoods, buildings, trees, churches, libraries. They constitute the collective heritage of the past, allowing people to feel a sense of continuity in their current lives and prepare for the future. (...)

Among these assets are the building assets of a patrimonial nature that transmit to us through the traces of their factories the memory of the receiving legacy and the commitment of identity for the people to safeguard it and transmit it to the new generations.

Se puede concluir que el deterioro suele proceder por una concatenación o suma de varias causas o, por no disponer de los recursos necesarios para las mejoras en la funcionalidad, en la falta de estanqueidad o en la inestabilidad estructural, que conducirán al colapso del bien de manera total o parcial.

El Plan Nacional de Conservación Preventiva propuesto por el equipo de Herráez Ferreiro (2013) posee como objetivos las acciones de investigación para identificar y analizar los riesgos, los métodos y las técnicas de conservación, identificar los criterios y métodos de trabajo, la coordinación de las acciones, la optimización de los recursos y la forma de acceso a la información, así como la revisión de colecciones y fondos.

Así mismo, Almagro Gorbea (2019) propone como el primer paso para la conservación el conocimiento y la interpretación a través del levantamiento o relieve del bien mediante la técnica de la fotogrametría arquitectónica junto con la del escáner láser. A partir de estos resultados ir incorporando el conjunto de las actividades encaminadas a la recuperación y conservación.

La planificación del sondeo de la información

Por un lado, a partir de la consulta y entrevistas realizadas de manera sistemática se pudo observar en una muestra que comprendía un parque de edificios históricos próxima al centenar, realizadas durante los años precedentes, por los investigadores del equipo, que solo los bienes propiedad o gestionados por la administración o fundaciones privadas de gran capacidad de recurso poseían un Plan de Conservación Preventiva, el resto se gestionaba mediante un plan de mínimos, actuaciones de acuerdo a necesidades inmediatas e inaplazables. Se trata de un porcentaje en torno al 10% de los edificios el que se gestiona según un PC.

Por otro lado, a la luz de la revisión de la literatura científica reciente sobre esta cuestión, nos facilitó disponer de tres grupos de fuentes documentales definidas por los artículos, los manuales y los estudios a través de palabras claves:

Grupo nº 1; Conservación Preventiva, Gestión Pública y HBIM.

Grupo nº 2; Patrimonio, Cultura y Turismo

Grupo nº 3; Sostenibilidad y BIM.

Esta planificación se realizó con el propósito de familiarizarse con los edificios, instituciones, personas y equipos, los principios, las hipótesis, y prácticas a partir de las cuales se apoyan el diseño de la labor y las actividades relativas a la CP y de la atención pública de los bienes edilicios de carácter cultural que facilite la implantación de la sistemática BIM en el patrimonio cultural, a partir de las aportaciones científicas consultadas. La que se utilizó para realizar la búsqueda fue la propia de la Universitat Politècnica de València, que se encuentra conectada con las más solventes plataformas: RiuNet.



Imagen 5. Detalles de los ángeles músicos de la bóveda mayor de la catedral de Valencia, Fuente los autores. Image 5. Details of the musical angels of the main vault of the Cathedral of Valencia, Source the authors.

Visitor management is aimed at protecting heritage resources from their damage and achieving their satisfaction. To achieve both objectives, the need arises to define control standards to plan the number and quantity of visits and people. (García-Hernández, M. y De la Calle Vaquero, M. 2004)

It can be concluded that the deterioration usually comes from a concatenation or sum of several causes or, by not having the necessary resources for improvements in functionality, lack of tightness or structural instability, which will lead to the collapse of the property of totally or partially.

The National Preventive Conservation Plan proposed by the Herráez Ferreiro team (2013) has as objectives the research actions to identify and analyze risks, conservation methods and techniques, identify criteria and work methods, the coordination of actions, the optimization of resources and the form of access to information, as well as the review of collections and funds.

Likewise, Almagro Gorbea (2019) proposes as the first step for the conservation knowledge and interpretation through the lifting or relief of the property through the technique of architectural photogrammetry together with that of the laser scanner. Based on these results, gradually incorporate all the activities aimed at recovery and conservation.

Information survey planning

On the one hand, from the consultation and interviews carried out in a systematic way, it was possible to observe in a sample that included a park of close to one hundred historical buildings, carried out during the preceding years, by the team's researchers, that only property owned or managed by the administration or private foundations with great resource capacity, they had a Preventive Conservation Plan, the rest was managed through a minimum plan, actions according to immediate and urgent needs. This is a percentage of around 10% of the buildings that is managed according to a PC.

On the other hand, considering the recent scientific literature review on this issue, it provided us with three groups of documentary sources defined by the articles, manuals, and studies through keywords:

Group 1; Preventive Conservation, Public Management and HBIM.

Group 2; Heritage, Culture and Tourism

Group 3; Sustainability and BIM.

This planning was carried out with the purpose of becoming familiar with the buildings, institutions, people and equipment, the principles, hypotheses, and practices from which the design of the work and activities related to PC and care are supported. public information on cultural building assets that facilitate the implementation of the BIM system in cultural heritage, based on the scientific contributions consulted. The one used to carry out the search was that of the Polytechnic University of Valencia, which is connected to the most reliable platforms: RiuNet.

The results

The results achieved have been classified into three groups: The first group defined the issues related to Preventive Conservation, Management and Heritage and BIM (HBIM) in it, the following four aspects have been distinguished; Historical periods and stratigraphy, HBIM Models for CP, Platforms for intervention and conservation. The second group corresponds to issues related to Heritage, Cultural Tourism, in which attention has been focused on Knowledge and Guardianship, Public Management and Visitor Management Platforms. And the third group on the topics of Sustainability and BIM in it, the following two aspects have been distinguished: Energy Efficiency and Legislation in the autonomous sphere.

Los Resultados

Los resultados alcanzados los hemos clasificados en tres grupos: El primer grupo se definió los temas relativos a la Conservación Preventiva, la Gestión y Patrimonio y BIM (HBIM) en él, se han distinguido los cuatro aspectos siguientes; Los periodos históricos y la estratigrafía, los Modelos HBIM para la CP, las Plataformas para la intervención y la conservación. El segundo grupo se corresponde con los temas relativos al Patrimonio, al Turismo Cultural, en este se ha focalizado la atención en el Conocimiento y la Tutela, La Gestión Pública y las Plataformas de Gestión de las visitas. Y, el tercer grupo sobre los temas de Sostenibilidad y BIM en él, se han distinguido los dos aspectos siguientes; la Eficiencia Energética y la Legislación en el ámbito autonómico.

Visualización de los resultados :

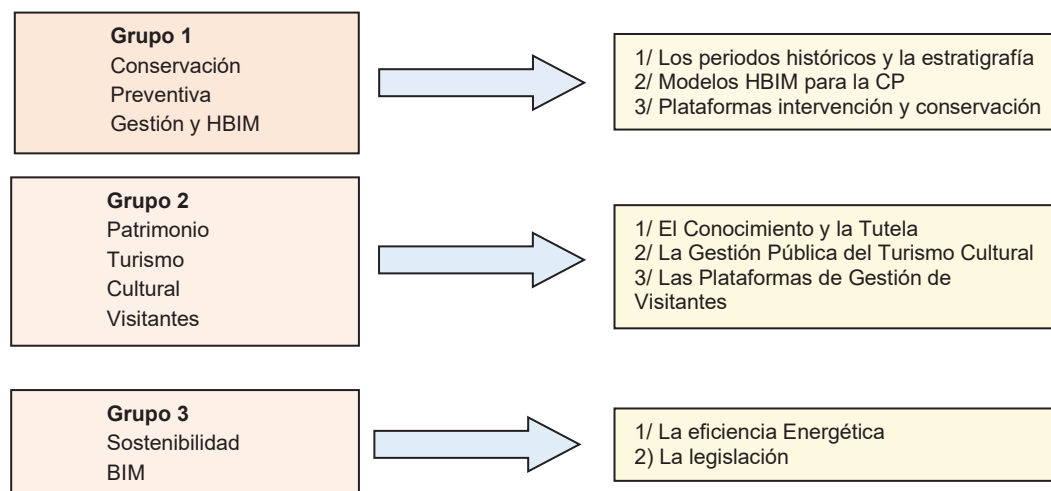


Imagen. 5 Esquema de la Visualización de los resultados. Fuente: Propia, (2021).

Image. 5 Diagram of the visualization of the results. Source: Own, (2021)

Grupo 1: Conservación preventiva, Gestión Pública y HBIM:

1) El equipo de Martín Talaverano, R., et. al. (2018) nos remite a considerar las aportaciones doctrinales del arqueólogo del CSIC Luis Caballero Zoreda, (Caballero, 2010) en el que plantea como la secuencia evolutiva del edificio histórico se basa en el marco metodológico de la Arqueología de la Arquitectura. La naturaleza evolutiva se documenta mediante el sistema BIM, resultado de un minucioso estudio estratigráfico murario (Guía nº 14, 2018). La gestión de la CP, Angulo-Fornos y Castellano-Román (2020) se plantean una serie de imágenes y tablas de datos como resultado de la aplicación de estos métodos para la representación de los procesos de introducción de información relacionada con la documentación del estado de conservación actual y el registro de los tratamientos incluidos en los trabajos de conservación preventiva desarrollados recientemente por una empresa especializada. 2) En cuanto a los repositorios de la información estos se pueden organizar mediante la vinculación de la geometría de los espacios y los componentes asociados, que juntos constituyen el modelo 3D-HBIM completo de un edificio. (Antonopoulou y Bryan, 2017). Así mismo, las aportaciones de Maggiolo et al., 2018, parten del modelo 3D para implementar el modelo 3D-HBIM, de tal forma, que ofrecen la posibilidad de organizar toda la información relacionada con un bien cultural basada en una jerarquía espacial. 3) En relación con el tercer grupo, Alberto Armisen-Fernández (2018) diseño la plataforma PetroBIM, la cual, establece un hito en la gestión de la implementación de BIM al patrimonio cultural.

Grupo 2: Patrimonio, Cultura y Turismo:

1) La tutela y la gestión del conocimiento, la historia clínica en el modelo HBIM. Las aportaciones en este campo están encaminadas a la necesaria implementación de metodologías digitales BIM y SIG para el conocimiento y gestión administrativa del patrimonio cultural, tanto a escala edilicia

Group 1: Preventive Conservation, Public Management and HBIM:

1) The team of Martín Talaverano, R., et. al. (2018) refers us to consider the doctrinal contributions of the CSIC archaeologist Luis Caballero Zoreda, (Caballero, 2010) in which he proposes how the evolutionary sequence of the historical building is based on the methodological framework of the Archeology of Architecture. The evolutionary nature is documented by the BIM system, the result of a meticulous stratigraphic study of the wall (Guide No. 14, 2018). The management of the CP, Angulo-Fornos and Castellano-Román (2020) propose a series of images and data tables as a result of the application of these methods for the representation of the processes of introduction of information related to the documentation of the state of current conservation and the registry of the treatments included in the preventive conservation works recently developed by a specialized company. 2) As for the information repositories, these can be organized by linking the geometry of the spaces and the associated components, which together constitute the complete 3D-HBIM model of a building. (Antonopoulou and Bryan, 2017). Likewise, the contributions of Maggiolo et al., 2018, start from the 3D model to implement the 3D-HBIM model, in such a way that they offer the possibility of organizing all the information related to a cultural asset based on a spatial hierarchy. 3) In relation to the third group, Alberto Armisén-Fernández (2018) designed the PetroBIM platform, which establishes a milestone in the management of the implementation of BIM for cultural heritage.

Group 2: Heritage, Culture and Tourism:

1) Guardianship and knowledge management, clinical history in the HBIM model. The contributions in this field are aimed at the necessary implementation of BIM and GIS digital methodologies for the knowledge and administrative management of cultural heritage, both on a building scale and on a territorial scale. (Project HAR2016 78113-R (Pinto-Puerto, 2016). 2) and 3) Researcher Salvador García, 2020 proposes the creation of a protocol and a platform for the public management of visitors. To improve and coordinate the information generated by multidisciplinary teams and to help professionals implement the planning and management of the public use of heritage more efficiently in its four areas: preventive conservation, visitor management, heritage interpretation and disclosure of heritage.

Group 3; Sustainability and BIM.

1) Sustainability, energy saving and the use of resources. Studies in this area focus on the need for the adaptability of heritage buildings to energy and sustainability requirements. It is necessary to link the interventions and changes of use to the sustainable management of buildings Galiano-Garrigós, 2019. 2) Legislation in the autonomous sphere of Spain. In this regard, the community of Catalonia has legislated on the management of projects with the aim of having a geo-information database of BIM as-build models at the end of the interventions.

Conclusions

The first conclusion refers to the fact that historical buildings are the state that has reached us throughout the life cycle that lasts for centuries. Therefore, they do not respond to systematized processes and circumstances, but are presented as models of unique buildings, which, although they start from a proposal for a regular layout, the sequentially of the construction phases over time has led to certain alterations and pathological manifestations.

And, secondly, as stated by Professor Antonio Galiano-Garrigós (2019), the old buildings used become anchor points for those who live nearby and reinforce the need to maintain history and tradition by creating a healthy urban environment. The historical legacy is necessary for the lives of citizens and allows them to face challenges in the future.

By last. Third, the most appropriate methodology to achieve efficient public management of a cultural building is the HBIM methodology. A first consideration refers to the characteristics and specific conditions that historical buildings possess.

como a escala territorial. (Proyecto HAR2016 78113-R (Pinto-Puerto, 2016). 2) y 3) La investigadora Salvador García, 2020 propone la creación de un protocolo y una plataforma para la gestión pública de los visitantes. Para mejora y coordinar la información generada por equipos multidisciplinares y para que ayude a los profesionales a implementar la planificar y gestionar más eficientemente el uso público del patrimonio en sus cuatro ámbitos: la conservación preventiva, la gestión de visitantes, la interpretación del patrimonio y la divulgación del patrimonio.

Grupo nº 3; Sostenibilidad y BIM.

1) La Sostenibilidad el ahorro energético y el aprovechamiento de los recursos. Los estudios en este ámbito se centran en la necesidad de la adaptabilidad de los edificios patrimoniales a las exigencias energéticas y de sostenibilidad. Se hace necesario vincular las intervenciones y cambios de uso a la gestión sostenible de los edificios Galiano-Garrigós, 2019. 2) La legislación en el ámbito autonómico de España. Este aspecto, la comunidad de Cataluña, ha legislado sobre la gestión de los proyectos con el objetivo de disponer de una base de datos de geo-información de los modelos BIM *as-build* al concluir las intervenciones.

Conclusiones

La primera conclusión refiere a que los edificios históricos son el estado que nos ha llegado a lo largo del ciclo de vida se prolonga durante siglos. Por ello, no responden a procesos y circunstancias sistematizados, sino que se presentan como modelos de edificios únicos, que, si bien parten de una propuesta de trazado regular, la secuencialidad de las fases constructivas a lo largo del tiempo ha conducido a determinadas alteraciones y manifestaciones patológicas.

Y, en segundo lugar, tal y como afirma el profesor Antonio Galiano-Garrigós (2019) los edificios antiguos utilizados se convierten en puntos de anclaje para quienes viven cerca y refuerzan la necesidad de mantener la historia y la tradición creando un entorno urbano saludable. El legado histórico es necesario para la vida de los ciudadanos y les permite afrontar retos en el futuro.

Por último. En tercer lugar, la metodología más apropiada para conseguir la gestión pública eficiente de un edificio cultural es la metodología HBIM.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- P ALMAGRO GORBEA, A. (2019). “Half a century documenting the Architectural Heritage with photogrammetry”, EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación, Nº 11, Valencia: Universitat Politècnica de València. pp. 4-30. <https://doi.org/10.4995/ege.2019.12863>.
- ANGULO-FORNOS, R.; CASTELLANO-ROMÁN, M. (2020). “HBIM as Support of Preventive Conservation Actions in Heritage Architecture. Experience of the Renaissance Quadrant Façade of the Cathedral of Seville”. Appl. Sci. 2020, 10 (7) 2428. <https://doi.org/10.3390/app10072428>
- ANTONOPOULOU, S. Y BRYAN, P. (2017). BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model. Londres. <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/bim-for-heritage/heag-154-bim-for-heritage/>
- ARMISÉN-FERNÁNDEZ, A. (2018); Caso de éxito de BIM aplicado al patrimonio. https://www.clubdeinnovacion.es/bim/Alberto_Arrmisen_PetroBIM_Gijón.pdf
- CABALLERO ZOREDA, L. (2010). “Experiencia metodológica en Arqueología de la Arquitectura de un grupo de investigación”, en C. M. Morales y E. de Vega García (eds.), Arqueología aplicada al estudio e intervención de edificios históricos. Últimas tendencias metodológicas, pp. 103-119. Ministerio de Cultura, Madrid. <http://www.calameo.com/read/000075335b34985f34eff>

- HERRÁEZ FERREIRO, J. A. (2013). “El Plan Nacional de Conservación Preventiva”. En Conservación preventiva, revisión de una disciplina; Ed. Patrimonio Cultural de España N.º7. Pp. 39 <http://www.culturaydeporte.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:26a66336-4e0c-4adc-b4d8-f2a89dde4998/conservacion-preventiva-revision-de-una-disciplina.pdf>
- INFORME DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE NACIONES UNIDAS, 2020; https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Spanish.pdf
- GALIANO-GARRIGÓS, A.; GONZÁLEZ-AVILÉS, Á.; RIZO-MAESTRE, C.; ANDÚJAR-MONTOYA, M. (2017). “Energy Efficiency and Economic Viability as Decision Factors in the Rehabilitation of Historic Buildings”. Sustainability 2019, 11, 4946. <https://doi.org/10.3390/su11184946>
- GARCÍA HERNÁNDEZ, M. Y DE LA CALLE VAQUERO, M. (2004). “Geographic research of tourism in Spain”. Anales de geografía de la Universidad Complutense, N° 24, págs. 257-27
- GUÍA N° 14 DE LA ASOCIACIÓN BULDINGSAMART. (2018). Adaptación del patrimonio cultural a la metodología de gestión BIM. <https://www.buildingsmart.es/actividades/grupos-de-trabajo/patrimonio-cultural/>
- MAGGIOLO G., CRISTALDO G., BERNAL R., Y OCAMPO A. (2018); “Historia y Tecnología, una relación posible. Nuevos métodos e instrumentos tecnológicos aplicados a la memoria construida”. En Encuentro internacional ciudades, territorio y patrimonio cultural, Mar del Plata, Argentina, Junio de 2018. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018ISPAr.422..715M/abstract>
- MARTÍN TALAVERANO, R., CÁMARA MUÑOZ, L. Y MURILLO FRAGERO, J. I. (2018). “Análisis integrado de construcciones históricas: secuencia estratigráfica y diagnóstico patológico. Aplicación en la iglesia de Santa Clara (Córdoba)” Arqueología de la Arquitectura, 15, enero-diciembre, e067 Madrid. 2018. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2018.001>
- PINTO PUERTO F. (2016). Proyecto de I+D+i, modalidad de Retos de Investigación en la convocatoria 2016 titulado; “Tutela sostenible del patrimonio cultural a través de modelos digitales BIM y SIG. Contribución al conocimiento e innovación social” TUTSOSMOD (HAR2016 78113-R). 2016. <https://andaluciatech.org/ecosistema-innovador/proyectos-singulares/turismo-cultura-y-ocio/desarrollo-de-modelos-bim-hbim-sig>
- SALVADOR-GARCÍA, E. (2020). Protocolo HBIM para una gestión eficiente del uso público del patrimonio arquitectónico. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València.

NUEVAS FÓRMULAS DE VISITA PÚBLICA A LOS EDIFICIOS PATRIMONIALES. LA VISITA TURÍSTICA AVATAR.

NEW MODELS FOR PUBLIC VISITS TO HERITAGE BUILDINGS. THE AVATAR TOURIST VISIT

María José Viñals

Investigadora del Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión para el Desarrollo Sostenible (PEGASO). Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría de la Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 València, España. Catedrática de Universidad. E-mail: mvinals@upv.es

Anna Sanasaryan

Investigadora en el Programa de Doctorado en Ingeniería Geomática de la Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 València, España. Master en Gestión de la Geoinformación para el Turismo cultural. E-mail: ansal6a@upv.edu.es

Elena Salvador García

Gestora cultural del Complejo San Juan del Hospital de València. Calle del Trinquet de Cavallers, 5, 46003 València, España. Doctora Ingeniera. E-mail: salvadorgarcia.elena@gmail.com

Luis Cortés Meseguer

Investigador en el Centro de Investigación de Tecnología de la Edificación. Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022, València, España. Profesor Contratado Doctor, Arquitecto y Arquitecto Técnico. E-mail: luicorme@upv.es

Abstract

The objective of this research is to identify new models for safe public visits to heritage buildings that usually make up the tourist offer of a destination. The health crisis caused by the Coronavirus (Covid-19) pandemic created an unprecedented social situation. In the most critical moments, tourism activities were cancelled or maintained severe biosecurity measures. Therefore, this research work proposes a new model for connecting the public with heritage under any circumstances and, at the same time, offering tourism services in conditions of health safety. Thus, live-streaming experiences of online interpretative tourist guidance were developed in heritage spaces; those visits were led by real guide-interpreters in a real scenario and broadcast live for remote visitors. We named this visiting model an "Avatar Tourist Visit". The visit is transmitted via videoconferencing software such as Zoom, Microsoft Teams, Skype, GoToMeeting, etc., that allow seamless interaction between the streamer and the audience. The fundamental concepts on which the model is based are the Heritage Interpretation, Interpersonal Communication, Filmmaking, Audio-visual Language, as well as Information and Communication Technologies.

This Avatar Visit has been conducted in San Juan del Hospital and the Cathedral of València (Spain) in order to refine the previous experiences regarding the operational functioning of the model. The results of these visits were evaluated by experts in the field of tourism and heritage and demonstrated a positive assessment for academic purposes. This type of visit could additionally be considered as a marketable product and form part of the portfolio of local tourism companies.

This work constitutes a part of the R&D Project called the "Analysis and development of HBIM integration in GIS for the creation of a tourist planning protocol of the cultural heritage of a destination (PID2020-119088RB-100)" of the Spanish Ministry of Science and Innovation.

Keywords

Heritage, Tourism, Online in-streaming Visit, Avatar Visit, Cathedral of València, San Juan del Hospital

Introducción

Las circunstancias acontecidas durante el año 2020 y 2021 a causa de la pandemia del coronavirus Covid-19, conllevaron la cancelación de numerosas actividades sociales, educativas y culturales; entre ellas, las visitas a lugares patrimoniales tanto naturales como culturales. Esto ha causado una situación de desconexión de los residentes con lugares de referencia para sus vidas, de enormes pérdidas económicas vinculadas al sector turístico, a la pérdida de oportunidades educativas para muchos escolares y también la suspensión de actividades investigadoras.

Por ello, este trabajo presenta una herramienta de trabajo desarrollada y experimentada en la Universitat Politècnica de València para llevar a cabo la retransmisión en directo de visitas guiadas a sitios patrimoniales. A esta herramienta, le hemos denominado “Visita Turística Avatar”.

Las bases conceptuales que rigen el desarrollo de una Visita Turística Avatar son las mismas que existen para una visita interpretativa presencial. Por lo tanto, se basa en herramientas asociadas a la Interpretación del Patrimonio y la Comunicación Interpersonal. No obstante, al tenerse que retransmitir en directo su concepción ha necesitado incorporar las técnicas de otras disciplinas como la Filmografía, el Lenguaje Audiovisual, y las Tecnologías de la Información y la Comunicación.

De cualquier manera, para abordar esta investigación, ha sido necesario revisar y adaptar las técnicas clásicas de interpretación del patrimonio propuestas por autores como Tilden (1957), Aldridge (1974), Ham (1992), Beck y Cable (2002), Buchholz *et al.* (2015), o las el propio Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS, 2008) en la *Carta para la Interpretación y Presentación de Sitios de Patrimonio Cultural o Carta Enane*. También se han identificado las mejores prácticas en el campo de la comunicación interpersonal para las visitas guiadas. Siguiendo los principios de Shalaginova (2012), también se han tenido en cuenta los principios de: retroalimentación, la asunción de roles, la atención, la percepción y la motivación, etc., de los participantes. Adicionalmente, se ha considerado la interacción entre los propios participantes, ya que es un elemento clave para fomentar el contexto social de la experiencia cultural y garantizar una mejor cercanía emocional.

La Visita Avatar es una actividad turística que se preocupa en transmitir credibilidad a través de la emisión de la experiencia en directo. Se trata pues de una herramienta de comunicación estratégica en la que interviene, como en cualquier otro proceso comunicativo, un emisor, un receptor, un mensaje y un canal que se usa para transmitir el mensaje (fig. 1).



Figura 1. Esquema comunicativo en las Visitas Turísticas Avatar.
Communication scheme in Avatar Tourist Visits

De este modo, la veracidad de la imagen y la narración hablada han sido reconocidas como elementos clave para el modelo de la Visita Turística Avatar. Por esta razón, el proceso de filmación de la visita resulta crucial. Hay que comentar que la Visita Turística Avatar no es un documental; es una historia sobre un sitio patrimonial narrada por un guía avatar que pretende representar físicamente al visitante remoto en el lugar (Viñals *et al.*, 2021). Por lo tanto, las tomas de cámara se eligen específicamente para acentuar la perspectiva del espectador. Así, según Sallitt (1980), los planos de cámara utilizados ofrecen la perspectiva visual que tiene el guía avatar en el lugar.

En relación con el lenguaje audiovisual, cabe señalar que la Visita Turística Avatar se basa principalmente en los sentidos del oído y la vista. Por lo tanto, además de las imágenes visuales, resulta fundamental la comunicación verbal y no verbal que debe adaptarse específicamente para suplir la falta de los estímulos olfativo, gustativo y táctil que podrían tenerse si la visita fuera presencial.

Por otro lado, cabe mencionar que las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) son herramientas fundamentales para este modelo de visita ya que para transmitir la visita se necesita un canal digital. La transmisión en directo es imprescindible para ofrecer contenidos multimedia a una audiencia a través de Internet en tiempo real, es decir, en directo. Por esta razón, se ha utilizado esta tecnología de modo que las personas separadas por la distancia pueden comunicarse y compartir experiencias como si estuvieran en el mismo espacio físico. Los requisitos mínimos para realizar una transmisión en directo y participar en ella son una conexión a internet suficiente y un dispositivo inteligente. La mejor opción para este tipo de visitas es el software de videoconferencia (Zoom, MS Teams, Skype, GoToMeeting, etc.) porque permite una interacción fluida entre el emisor y el receptor.

La hipótesis de investigación de este trabajo parte de que es posible promover el aprecio del patrimonio y fomentar su conservación en la sociedad, proporcionando una forma de conectar al público con el patrimonio en tiempo real y en un contexto digital.

Introduction

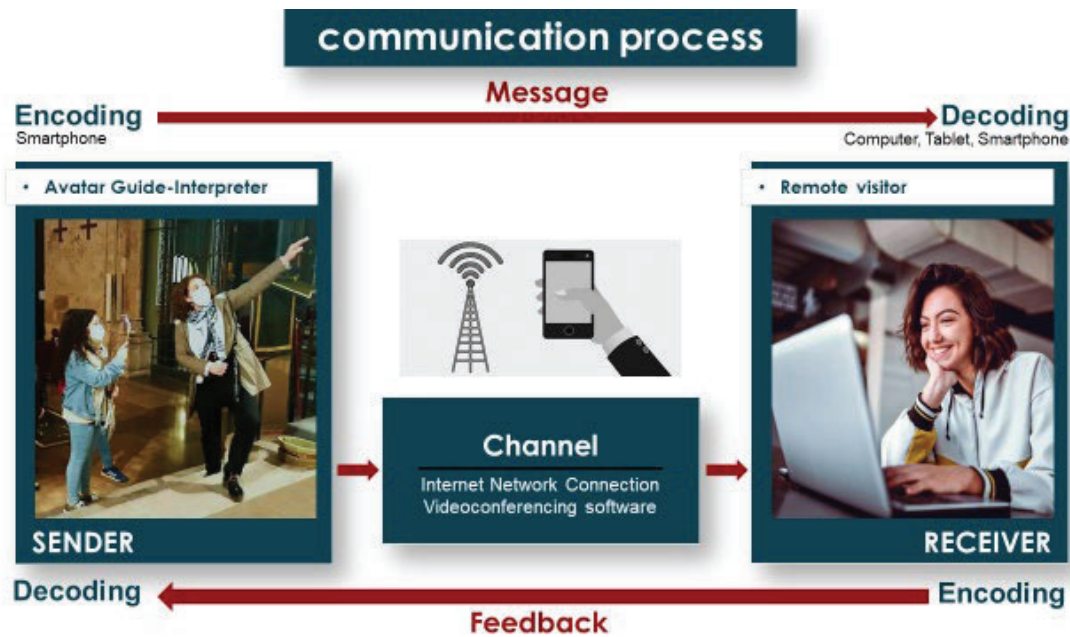
The circumstances that occurred during 2020 and 2021 due to the Covid-19 coronavirus pandemic led to the cancellation of numerous social, educational and cultural activities, including visits to natural and cultural heritage sites. This has led to a situation of disconnection of residents from places of reference in their lives, to huge economic losses linked to the tourism sector, to the loss of educational opportunities for many students, and to the suspension of research activities.

Therefore, this work is the presentation of a working tool developed and tested at the Universitat Politècnica de València to carry out the live-streaming experiences of online interpretive guided tours to heritage sites. We have called this tool “Tourist Visit Avatar”.

The conceptual bases that govern the development of an Avatar Tourist Visit are the same as those that exist for an onsite interpretative visit. Therefore, it is based on tools associated with Heritage Interpretation and Interpersonal Communication. However, as its conception has to be retransmitted in real time, it has been necessary to incorporate the techniques of other disciplines such as Filmography, Audiovisual Language and Information and Communication Technologies.

In order to approach this research, the classical techniques of heritage interpretation proposed by authors such as Tilden (1957), Aldridge (1974), Ham (1992), Beck and Cable (2002), Buchholz *et al.* (2015), or those of reputed cultural institutions such as the International Council on Monuments and Sites (ICOMOS, 2008) through the *Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites or Ename Charter* have been reviewed and adapted. Additionally, we analysed the best practices for Interpersonal Communication for live-streaming guided tours. Following the principles per Shalaginova (2012), we have also taken into consideration the feedback, role-taking, attention, perception, and motivation, etc., of the participants. Furthermore, the interaction between the latter has also been considered since it is a key element in fostering the social context of cultural experience and ensuring better emotional closeness.

The Avatar Tourist Visit is a tourism activity concerned with transmitting credibility through the live-streaming experience. As a strategic communication tool, it involves a sender, a receiver, a message and a channel that is used to transmit the message (fig. 1).



In this way, the veracity of the image and spoken narration were recognized as critical elements to this model. For this reason, the focus was centred on the filming process of the visit. The Avatar Tourist Visit is not a documentary; it is a story about a heritage site narrated by an avatar guide who intends to represent physically the remote visitor onsite (Viñals *et al.*, 2021). Therefore, the point-of-view shot was specifically chosen to accentuate the remote visitor perspective. Therefore, it is a film angle shot characterized, according to Sallitt (1980), by the fact that shows what a character (the avatar guide) is looking at (represented through the camera).

In relation to the Audio-Visual Language, it should be noted that the Avatar Tourist Visit is primarily based on auditory and visual senses. Therefore, in addition to visual imagery, interpersonal verbal and non-verbal communication are fundamental elements that need to be tailored specifically to replace the lack of perception of olfactory, gustatory, and tactile stimuli.

On the other hand, it should be mentioned that Information and Communication Technologies (ICT) are critical tools to this model of the visit because it uses a digital channel to transmit information. Live streaming is crucial to deliver multimedia contents to an audience over the internet in real-time. Therefore, we have used this technology to enable the people separated by distances to communicate and share visiting experiences as if they shared the same physical space. The minimum requirements to perform a live-streaming transmission and to participate in it are sufficient internet connection and a smart device. The best option for an Avatar Tourist Visit is the videoconferencing software (e.g., Zoom, MS Teams, Skype, GoToMeeting, etc.) because it allows a fluent interaction between the streamer and the audience.

This research hypothesises of this paper is that it is possible to promote heritage appreciation and foster heritage conservation in society by providing some form of continuous synchronous connection to heritage in a meaningful context online.

Objetivos y metodología

El objetivo de este trabajo es proponer nuevos modelos de visita turística para conectar al público con el patrimonio en cualquier circunstancia y, al mismo tiempo, ofrecer servicios turísticos en condiciones de seguridad sanitaria. Experiencias similares han sido desarrolladas previamente por el equipo de investigación (Viñals *et al.*, 2021) tanto en espacios naturales como en monumentos, pero el análisis de este trabajo se ha centrado en un tipo específico de edificios patrimoniales, como son las

iglesias históricas valencianas, y en reforzar la inmersión emocional (sensación de presencia) del visitante remoto mediante la incorporación de refuerzos audiovisuales.

Los proyectos de este tipo se enmarcan dentro de la investigación prescriptiva, ya que la finalidad del producto/solución es dar pautas para su correcta implementación, como es el caso de la Visita Turística Avatar. Dado que, según van Aken (2004), el paradigma dominante de la investigación prescriptiva es la Ciencia del Diseño, el enfoque metodológico general de este trabajo fue la Investigación de la Ciencia del Diseño (DSR). Por lo tanto, se siguieron las cinco etapas sugeridas por el autor y se aplicaron a nuestro proceso de investigación: 1. Identificar el problema; 2. Entender el problema; 3. Desarrollar una solución; 4. Implementar la solución; y 5. Evaluar la solución.

En relación a la identificación y comprensión del problema ya se ha comentado en el apartado introductorio las dificultades para conectar con el patrimonio habidas en situaciones de restricciones de movilidad. La solución presentada se refiere al desarrollo de la Visita Turística Avatar presentada en este trabajo. Este modelo ha sido ensayado en dos monumentos religiosos valencianos y posteriormente, se ha refinado el modelo tras evaluar los resultados de su aplicación.

Objectives and Methodology

The objective of this work is to propose new models of tourist visit for connecting the public with heritage under any circumstances and, at the same time, offering tourism services in health safety conditions. Similar experiences have been previously developed by the research team (Viñals *et al.*, 2021) both in natural and cultural spaces. The analysis in this work was focused on a specific type of heritage buildings, such as historic Valencian churches, and on reinforcing the emotional immersion (sense of presence) of the remote visitor by incorporating audio-visual reinforcements.

Projects of this type are framed within prescriptive research since the purpose of the product/solution is to provide guidelines for their proper implementation, as it is in the case of the Avatar Tourist Visit. Since, according to van Aken (2004), the dominant paradigm of prescriptive research is the Design Science, the general methodological approach of this work was the Design Science Research (DSR). Hence, the five stages suggested by the author were followed and applied to our research process: 1. Identify the problem; 2. Understand the problem; 3. Develop a solution; 4. Implement the solution; and 5. Evaluate the solution.

In relation to the identification and understanding of the problem, the difficulties in connecting with the heritage in situations of mobility restrictions have already been mentioned in the introductory section. The solution presented refers to the development of the avatar Avatar Tourist Visit presented in this work. This model has been tested in two Valencian religious monuments and subsequently, the model has been refined after evaluating the results of its application.

Resultados

El resultado de esta investigación es el perfeccionamiento del procedimiento para realizar una Visita Turística Avatar. Así, además de las correspondientes adaptaciones realizadas en la visita interpretativa presencial para transformarla en una visita online, se han implementado algunos refuerzos audiovisuales para mejorar los resultados de las experiencias anteriores.

Para este trabajo, los resultados se derivan de la implementación de la Visita Turística Avatar en dos casos de estudio en València (España): Conjunto religioso de San Juan del Hospital (fig. 2), y Catedral de València (fig. 3), ambos designados como Bien Cultural de Interés Nacional de España.

La primera experiencia se llevó a cabo en San Juan del Hospital, ubicado en el barrio Xerea de la ciudad de València. Se trata de un edificio religiosos mandado construir por el rey cristiano Jaime I a fines del siglo XIII y cuyo estilo dominante es gótico.



Figura 1. Iglesia de San Juan del Hospital durante la Visita Turística Avatar en marzo de 2021. Church of San Juan del Hospital during the Avatar Tourist Visit in March 2021 (A. González)

La segunda experiencia tuvo lugar en la Catedral de València, que es el edificio religioso más emblemático de la ciudad y está situada en el barrio de La Seu. Construida también en el siglo XIII por orden del rey Jaime I, es famosa internacionalmente por albergar el Santo Cáliz de la Última Cena, que resulta ser una de las reliquias más importantes de la cristiandad.

En esta experiencia avatar participó un equipo compuesto por un coordinador general, guías avatar, operadores de cámara y el organizador online de la reunión que gestionaba *ex situ* el acceso y buen uso de la plataforma digital por parte del público remoto. El software de videoconferencia utilizado fue la plataforma Microsoft Teams. La visita se desarrolló siguiendo un itinerario por el exterior e interior de los edificios a partir de un patrón de la visita, un guion y un relato interpretativo elaborado previamente. Se retransmitió usando un Smartphone.

Ambas visitas se realizaron para un grupo focal compuesto por estudiantes, profesores y expertos en patrimonio. En el caso de San Juan del Hospital el público fue nacional, pero en el caso de la Catedral, además de un público nacional, fue emitida para profesores y estudiantes de universidades norteamericanas, por lo que fue retransmitida en inglés. Estas audiencias expertas analizaron la experiencia y evaluaron el procedimiento en términos de utilidad, aplicabilidad, inmersión, compromiso y disfrute, siguiendo los criterios propuestos por Tzortzopoulos (2004), Horváth (2007), Pisoni *et al.* (2019) y Gilabert-Sansalvador *et al.* (2021). La utilidad se demostró fácilmente porque este modelo contribuye a la accesibilidad universal al patrimonio. La aplicabilidad no presentó problemas con el uso de las TIC actualizadas. En términos de compromiso y disfrute, los resultados informan de que una visita con avatar fue mucho mejor que una visita presencial con audioguía. La razón de ello radica en la buena actuación y profesionalidad de los guías avatar, basada en una narración interpretativa muy bien preparada. La sensación de inmersión en la escena depende principalmente de la actuación de los guías y de su capacidad comunicativa, y puede complementarse con algunas técnicas de filmación y documentos gráficos y sonoros complementarios.



*Figura 2. Catedral de València durante la Visita Turística Avatar en diciembre de 2021.
Cathedral of València during the Avatar Tourist Visit in December 2021 (M.J. Viñals)*

Tras la evaluación de la primera visita a San Juan del Hospital, los expertos sugirieron varias áreas de mejora, casi todas ellas relacionadas con el concepto de inmersión *in situ*. Así, en la última experiencia desarrollada en la Catedral de València, se incorporaron refuerzos sensoriales visuales y auditivos para enriquecer la escena narrada. De este modo, se insertaron algunos videoclips complementarios con contenidos extraordinarios y con escenas excepcionales que estaban fuera del alcance de la cámara y que, por tanto, habrían sido difíciles o incluso imposibles de captar en las circunstancias normales de una Visita Avatar. Por ejemplo, durante la Visita Turística Avatar a la Catedral de València los visitantes remotos pudieron ver y escuchar la mágica composición de los campaneros del Miguelete (campanario de la Catedral de València) que fue grabada previamente durante una festividad religiosa. La visita también incluyó otro vídeo a vista de pájaro, es decir, con tomas aéreas realizadas desde un dron, para ayudar a los visitantes a visualizar el monumento desde una perspectiva diferente. Por último, la visita se completó con la actuación en directo de un grupo coral que aportó mucha emoción y una sensación de exclusividad única a la visita.

Los resultados del grupo de discusión revelaron la idoneidad de las nuevas mejoras audiovisuales implementadas y la viabilidad de su gestión en la plataforma de videoconferencia MS Teams, que se utilizó para estas transmisiones en directo.

Results

The result of this research is the refinement of the procedure for conducting an Avatar Tourist Visit. Therefore, in addition of the corresponding online adaptations made in the onsite interpretive visit, some audio-visual reinforcements have been implemented to improve the results of previous experiences.

For this paper, the results are derived from the implementation of the Avatar Tourist Visit in two case studies in València (Spain): Religious ensemble of San Juan del Hospital (fig. 2), and Cathedral of València (fig. 3), both designated as a Spanish Cultural Asset of National Interest.

The first experience took place in San Juan del Hospital, located in the Xerea neighbourhood of the city of Valencia. It is a religious building commissioned by the Christian King James I at the 13th century and whose dominant style is Gothic.

The second experience took place in the Cathedral of Valencia, which is the most emblematic religious building in the city, located in La Seu neighbourhood. Also built in the 13th century by order

of King James I, it is internationally famous for housing the Holy Chalice of the Last Supper, which happens to be one of the most important relics in Christianity.

These avatar experiences involved a team made up of a main coordinator, avatar guides, camera operators, and a live streaming meeting organiser who managed *ex situ* the access and proper use of the digital platform by the remote audience. The videoconferencing software used was the Microsoft Teams platform. The visit followed an itinerary around the exterior and interior of the buildings based on an established visiting pattern, and an previously prepared interpretative script and storytelling. It was broadcast using a smartphone.

Both visits were addressed to a focus group of students, teachers and heritage experts. In the case of San Juan del Hospital, the audience was national, but in the case of the Cathedral, in addition to a national audience, it was broadcast for professors and students from North American universities, so it was presented in English. These expert audiences analysed the experience and assessed the procedure in terms of the usefulness, applicability, immersion, engagement, and enjoyment, following the criteria proposed by Tzortzopoulos (2004), Horváth (2007), Pisoni et al. (2019), and Gilabert-Sansalvador *et al.* (2021). Usefulness was easily proven because this model contributes to the universal accessibility to heritage, and applicability do not present problems with the use of updated ICT. In terms of engagement and enjoyment, results inform that an Avatar Visit was much better than an onsite visit with audio-guide. The reason for this lies in the good performance of the avatar guides, based on a very well-prepared interpretative storytelling. The feeling of immersion mainly depends on the guides' performance and their communicative skills, and can be complemented with some filming techniques, and graphical and sound extras.

Following the evaluation of the first visit to San Juan del Hospital, the experts suggested several areas for improvement, almost all of them related to the onsite immersion concept. Thus, in the last experience developed in the Cathedral of València, visual and auditory sensory reinforcements were incorporated to enrich the narrated scene. In this way, some additional video clips were inserted with extraordinary contents and exceptional scenes that were out of the reach of the camera and, thus, would have been difficult or even impossible to capture in the normal circumstances of an Avatar Tourist Visit. For instance, during the Avatar Visit to the Cathedral of València the remote visitors were able to watch and hear the magical composition of the bell-ringers of the Miguelete (bell tower of the Cathedral of València) which was previously recorded during a special festivity. The visit also included another video from the bird's-eye view, i.e., aerial shots taken from a drone, to help the visitors visualize the monument from a different perspective. Finally, the visit was rounded off by a live performance of a choral group that brought a lot of emotion and a sense of exclusivity to the visit.

The results from the focus group discussion revealed the adequacy of the implemented new audio-visual improvements and the feasibility of managing them on the Microsoft Teams videoconferencing platform, which was used for these live-streaming transmissions.

Conclusiones

Si bien es cierto que nada puede sustituir totalmente a las visitas presenciales, no es menos cierto que, en épocas de restricciones de movilidad o accesibilidad, este modelo permite el desarrollo de visitas guiadas avatares interpretativas, que se caracterizan por la interacción en vivo, la personalización para cada público y se desarrollan en tiempo real.

La Visita Turística Avatar es, por tanto, una alternativa creativa clara para mantener la conexión entre las personas y el patrimonio, así como para fomentar el diálogo cultural en cualquier circunstancia.

Se han podido identificar claramente como características positivas:

- Se trata de un modelo de visita no intrusivo que garantiza totalmente la preservación de los bienes patrimoniales.
- Es inmersivo (frente a los tours virtuales grabados) ya que proporciona un sentido de estar verdaderamente en el lugar.
- Es un modelo que se puede adaptar a las necesidades del público y además puede ser comercializado.

- Es inclusivo y accesible a cualquier tipo de público
- Es interactivo porque se establece una comunicación entre el emisor (guía avatar) y el receptor (público remoto)
- Es tecnológicamente sencillo, usa dispositivos de emisión de fácil manejo y las plataformas de videoconferencia están al alcance de cualquier persona. Es evidente también que los avances tecnológicos permitirán mejorar en un futuro próximo las herramientas de software para la videoconferencia y, por tanto, se podrá reforzar la inmersión emocional.

Los autores de este trabajo creen que esta herramienta no es una solución temporal para resolver problemas puntuales, sino que pasará a formar parte de los recursos didácticos de profesores e investigadores, así como de las empresas comerciales de turismo interpretativo.

Conclusions

While nothing can fully replace onsite visits, nevertheless, it is still true that, in times of mobility or accessibility restrictions, this model allows for the development of interpretive avatar guided visits which are characterized by live and personalised interaction with the audience in real time.

The Avatar Tourist Visit is therefore undoubtedly an evident creative alternative for maintaining connections between people and heritage, as well as fostering cultural dialogue under any circumstances.

It has been clearly identified as positive features:

- It is a non-intrusive visit model that fully guarantees the preservation of heritage assets.
- It is an immersive model (as opposed to recorded virtual tours) as it provides an authentic and reliable feeling of “being there”.
- It is a personal product that can be adapted and customized to the needs of the public and can also be marketed.
- It is an inclusive and accessible activity to all audiences.
- It is an interactive process because communication is established between the sender or streamer (avatar guide) and the receiver (remote audience).
- It is a technologically simple procedure; it involves easy-to-use broadcasting devices and the videoconferencing platforms are available to anyone. It is also clear that technological advances will improve the software tools for videoconferencing and, therefore, the emotional immersion will be reinforced in the near future.

The authors of this work believe that this tool is not a temporary solution to solve specific problems, but that it will become part of the didactic resources of teachers and researchers, as well as of commercial interpretive tourism companies.

BIBLIOGRAFÍA / BIBLIOGRAPHY

- Aldridge, D. (1974): «Upgrading Park Interpretation and Communication with the Public, En Elliot (editor): *Second World Conference on National Parks*. IUCN, Switzerland.
- Beck, L. y Cable, T. (2002): «*Interpretation for the 21st Century: Fifteen Guiding Principles for Interpreting Nature and Culture*». Sagamore Publishing: Champaign, IL, USA.
- Buchholz, J., Lackey, B. y Gross, Z. (2015): «*The interpreter's Guidebook. Techniques for programs and presentations*». (4ª Edición). UWSP Foundation Press, Inc. University of Wisconsin-Stevens Point, WI, USA, 225 pp.
- Gilbert-Sansalvador, L.; Viñals, M.J.; Casar Furió, M.E.; Capilla Tamborero, E.; Herrero García, L.F. «From On-Campus to Online Instruction in Postgraduate Built Heritage

- Management Studies». In *INTED2021, Proceedings of the 15th International Technology, Education and Development Conference*, Valencia, Spain, 2021; L. Gómez Chova, A. López Martínez, I. Candel Torres, Eds.; IATED Academy: Valencia, Spain (2021): 5577-5586. <https://dx.doi.org/10.21125/inted.2021.1126>
- Ham, S. «*Environmental Interpretation: A Practical Guide for People with Big Ideas and Small Budgets*». North American Press: Golden, CO, USA. (1992).
 - Horváth, I. «Comparison of three methodological approaches of design research». In *DS 42, Proceedings of ICED (2007), the 16th International Conference on Engineering Design*, Paris, France, 2007; pp. 361-362.
 - ICOMOS (2008): «*The ICOMOS Ename Charter on the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites*». 16th General Assembly of ICOMOS: Quebec, QC, Canada, 2008. www.icomos.org/charters/interpretation_e.pdf
 - Sallitt, D. «*Point of View and “Intrarealism” in Hitchcock*». *Wide Angle*, 4(1) (1980): 38.
 - Shalaginova, I. «*Understanding Heritage. A Constructivist Approach to Heritage Interpretation as a Mechanism for Understanding Heritage Sites*». Ph.D. thesis, Branderburg University of Technology, Cottbus, Germany (2012). <https://core.ac.uk/download/pdf/33434544.pdf> (accessed on 15 May 2021).
 - Pisoni, G.; Daniel, F.; Casati, F.; Callaway, C.; Stock, O. «Interactive Remote Museum Visits for Older Adults: An Evaluation of Feelings of Presence, Social Closeness, Engagement, and Enjoyment in a Social Visit». *Proceedings of the IEEE International Symposium on Multimedia (ISM)*, San Diego, USA, (2019): 99-102. <https://doi.org/10.1109/ISM46123.2019.00023>
 - Tilden, F. (1957): «*Interpreting our Heritage: Principles and Practices for Visitor Services in Parks, Museums, and historic Places*». University of North Carolina Press: Chapel Hill, NC, USA.
 - Tzortzopoulos, P. «*The design and implementation of product development process model in construction companies*». Ph.D. thesis, University of Salford, Salford, UK (2004). <http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/26949>.
 - van Aken, J.E. «Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules». *Journal of Management Studies*, 41(2) (2004): 219–246. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2004.00430.x>
 - Viñals, M.J., Gilabert, L., Sanasaryan, A. Teruel, L. Darés, M. «Online Synchronous Model of Interpretive Sustainable Guiding in Heritage Sites: The Avatar Tourist Visit». *Sustainability*, 13(13) (2021): 7179. <https://doi.org/10.3390/su13137179>

VALORES PATRIMONIALES DE LA CATEDRAL DE VALENCIA PARA SU VISITA CULTURAL

HERITAGE VALUES OF VALENCIA'S CATHEDRAL FOR ITS CULTURAL VISIT

Luis Cortés Meseguer

Investigador en el Centro de Investigación de Tecnología de la Edificación y adscrito al Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Contratado Doctor Arquitecto y Arquitecto Técnico. E-mail: luicorme@upv.es

Researcher in the Building Technology Research Center. Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Associated Professor, PhD Architect and Building Engineer. E-mail: luicorme@upv.es

Concepción López González

Investigadora en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrita al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Catedrática de Escuela Universitaria, Doctora Arquitecta. E-mail: mlopezg@ega.upv.es

Researcher in PEGASUS Research Center for Architecture, Heritage and Sustainable Management and assigned the Department of Architectural Graphic Expression; Universitat Politècnica de València, Senior Lecturer, PhD Architecture by the UPV. E-mail: mlopezg@ega.upv.es

Jorge Luis García Valdecabres

Investigador en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrito al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular de Universidad, Doctor Arquitecto. E-mail: jgvallde@ega.upv.es

Researcher in the PEGASUS Research Center for Architecture, Heritage and Sustainable Management and assigned Department of Architectural Graphic Expression; Universitat Politècnica de València, Senior Lecturer, PhD Architecture by the UPV. E-mail: jgvallde@ega.upv.es

M^a José Viñals Blasco

Investigadora en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrita al Departamento de Ingeniería Cartográfica Geodesia y Fotogrametría; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Catedrática de Universidad. E-mail: mvinals@upv.es

Researcher in PEGASUS Research Center for Architecture, Heritage and Sustainable Management and assigned the Department of Cartographic Engineering, Geodesy and Photogrammetry; Universitat Politècnica de València, Full Professor, PhD Architecture by the UPV. E-mail: mvinals@upv.es

Abstract

This work is part of the R&D Project "Analysis and development of HBIM integration in GIS for the creation of a tourist planning protocol of the cultural heritage of a destination (PID2020-119088RB-100)" of the Spanish Ministry of Science and Innovation. The cathedral of Valencia is a study case.

Valencia's Cathedral is one of the best examples of cultural heritage in all aspects; it is art, history of architecture, tradition, place of worship, pilgrimage center, etc. Its interior houses relics of the Passion of Christ, such as the Holy Chalice, thorns from the crown or pieces of the cross. On a pictorial level, it presents works by famous painters such as Goya or Leonardo da Vinci's collaborators, as well as one of the best-preserved Gothic murals. Its exterior, the doorway of the Apostles, is the framework of the oldest court of justice in Europe: the Tribunal de las Aguas. Not only is the Gothic architecture that this unique monument offers, but they are also one of the best examples of the Renaissance, Baroque or Neoclassicism, since the best masters have worked there. It is, in short, a cathedral where Popes have passed and that offers the visitor a route to Valencian culture and tradition.

Keywords

Valencia, cathedral, heritage, Tribunal de las Aguas, Holy Grail, Way of St. James

Introducción

Este trabajo de investigación está incluido en el proyecto I+D denominado “Análisis y desarrollo de la integración HBIM en SIG para la creación de un protocolo de planificación turística del patrimonio cultural de un destino” (PID2020-119088RB-I00) del Ministerio de Ciencia e Innovación.

Si tuviéramos que dar una definición de patrimonio, uno de los mejores ejemplos sería el de la catedral de Valencia; este monumento, además de ser un espacio de culto, supone numerosos aspectos relacionados con la cultura y tradición de un territorio histórico con un fuerte carácter y que llegó a ser la Catedral del Reino de Valencia y que por su poderío conserva distintos elementos religiosos y que todas las catedrales del Mundo les gustaría adquirir. La catedral de Valencia es museo, historia viva del arte y arquitectura, archivo, punto de peregrinación, patrimonio inmaterial, tradición, etcétera y, sobre todo, lugar de culto y veneración; la mejor definición, además de patrimonio, sería que la catedral de Valencia es un fenómeno cultural asociado a la tierra valenciana.

Aunque el Arzobispo de Valencia es la máxima autoridad eclesiástica de la diócesis, la catedral de Valencia está gestionada por el Cabildo Catedralicio, formado por el Deán y los canónigos, llegando a tener numerosas administraciones cuyos delegados son los mismos canónigos. Tal y como se ha visto a lo largo de la historia de la Catedral, incluso se forman comisiones para tratar o dirigir ciertas empresas. Si bien a nivel espacial, el coro estaba situado en la nave central reduciendo el espacio para el resto de feligreses a las naves laterales y el tramo de los pies, a partir de la reforma de 1940 y la eliminación del coro de la parte central la Catedral podía acoger a un mayor número de fieles y se abrió a los fieles y siendo a día de hoy uno de los monumentos más visitados de Valencia, alcanzando en 2016 (antes de la pandemia de Covid) 300.000 visitantes, siendo el primero del ranking el Museo Nacional de China con 7.550.000.



Imagen 1. Vista volumétrica de Google Earth

Image 1. Vista volumétrica de Google Earth

Introduction

This work is part of the R&D Project "Analysis and development of HBIM integration in GIS for the creation of a tourist planning protocol of the cultural heritage of a destination (PID2020-119088RB-100)" of the Spanish Ministry of Science and Innovation. The cathedral of Valencia is a study case.

If we had to give a definition of heritage, one of the best examples would be that of the Cathedral of Valencia; This monument, in addition to being a place of worship, supposes numerous features related to the culture and tradition of a historical territory with a strong character which became the Cathedral of the Kingdom of Valencia. Due to its power preserves different religious elements and that all the cathedrals of the world would like to acquire. Valencia's Cathedral is a museum, a living history of art and architecture, an archive, a pilgrimage point, intangible cultural heritage, tradition, etc. and, above all, a place of worship and veneration; the best definition, in addition to heritage, would be that the Cathedral of Valencia is a cultural phenomenon associated with the Valencian land.

Although the Archbishop of Valencia is the highest ecclesiastical authority in the diocese, the Cathedral of Valencia is managed by the Cathedral Chapter, made up of the Dean and the canons, having numerous administrations whose delegates are the same canons. As has been seen throughout the history of the Cathedral, commissions are even formed to deal with or direct certain business. Although at a spatial level, the choir was located in the central nave reducing the space for the rest of the parishioners to the lateral naves and the section of the feet, from the reform of 1940 and the elimination of the choir from the central nave, the Cathedral could accommodate a greater number of faithful and was open to the faithful and being today one of the most visited monuments in Valencia, reaching 300,000 visitors in 2016 (before the Covid pandemic), whereas the first in the ranking was the National Museum of China with 7,550,000.



Imagen 2. Ruta Jacobea Levantina

Image 2. The Way of St James from Valencia

Centro de devoción popular y fervor religioso

Como cualquier catedral, la de Valencia cumple con su uso religioso y devocional, siendo también principio y fin de peregrinaciones, además de recientes visitas papales como San Juan Pablo II en 1982 o de Benedicto XVI en 2006, lo que propició intervenciones de restauración de la portada barroca, declarada en ruina técnica y que Casar y Esteban fueron pioneros, como en tantas otras cosas, en realizar un levantamiento 3d (Casar y Esteban 2000).

Si bien el Camino de Santiago es famoso y en el Camino no es difícil encontrar peregrinos de todo el Mundo, desde la catedral de Valencia empieza el Camino de Santiago de Levante o Ruta Jacobea Levantina, puesto que su puerto comunicaba con los demás países del Mediterráneo y esto permitía la llegada de peregrinos procedentes de Roma, Jerusalén, Sicilia o Palestina. La otra peregrinación importante y donde la Catedral es etapa final es la de la Ruta del Santo Cáliz, ya que se conserva la copa que Cristo usó en la Última Cena. Por otro lado, la Catedral conserva otros elementos de la Pasión de Cristo, como serían dos espinas de la corona que se conserva en la Saint Chapelle (Rohault de Fleury 1870) y dos fragmentos de la Cruz. De hecho, existe un fantástico reconditorio situado sobre la entrada a la Sacristía que fue creado para albergar el relicario de la espina que San Luis regaló en 1256; este reconditorio está decorado con pinturas medievales (siglo XIII-XIV) que muestran pasajes de la Pasión.

Existe la tradición en la catedral valenciana de sacar en procesión el Santo Cáliz los Jueves Santo, pero es de mayor fervor popular la procesión del Corpus Christi y que esta sí recorre las calles de Valencia donde las casas están engalanadas, el pavimento de la calle con decoraciones vegetales y los feligreses a su paso echan pétalos de rosas desde los balcones. Además, existe en Valencia el Museo del Corpus (Casa de las Rocas) donde se guardan los objetos de las fiestas desde el siglo XV.

La Senyera, la bandera de los valencianos desde la conquista de Jaime I, participa todos los 9 de octubre en el Te Deum, misa de acción de gracias por la conmemoración de la conquista de Valencia por Jaime I en 1238. En la actualidad la polémica está servida porque los gobernantes quieren paganizar todas las fiestas.

Es habitual encontrarse a mujeres embarazadas dando vueltas por las naves laterales y pararse en el centro de la girola para rezarle a la Virgen de la Silla, que se encontraba originariamente sobre la puerta del trascoro, el mismo que se desmontó en 1940. Estas mujeres dan 9 vueltas por los 9 meses de gestación y en cada vuelta se paran a rezar a esta Virgen también denominada del Buen Parto.



Imagen 3. Santo Cáliz y Virgen del Buen Parto. Image 3. Holy Grail and Virgin of Good Birth

Center of popular devotion and religious fervor

Like any cathedral, the one in Valencia fulfills its religious and devotional use, being also the beginning and end of pilgrimages, in addition to recent papal visits such as Saint John Paul II in 1982 or Benedict XVI in 2006, which led to restoration interventions of the Baroque doorway, declared in technical ruin and that Casar and Esteban were pioneers, as in many other things, in carrying out a 3d survey (Casar and Esteban 2000).

Although the Way of St. James is famous and on the Camino it is not difficult to find pilgrims from all over the world, from the Cathedral of Valencia begins the Camino de Santiago de Levante or Jacobean Levantine Route, since its port communicated with the other Mediterranean countries and this allowed the arrival of pilgrims from Rome, Jerusalem, Sicily or Palestine. The other important pilgrimage and where the Cathedral is the final stage is the Route of the Holy Chalice, since the cup that Christ used at the Last Supper is preserved. On the other hand, the Cathedral preserves other elements of the Passion of Christ, such as two thorns from the crown that is preserved in the Saint Chapelle (Rohault de Fleury 1870) and two fragments of the Cross. In fact, there is a fantastic repository located over the entrance to the Sacristy that was created to house the reliquary of the thorn that San Luis gave in 1256; this repository is decorated with medieval paintings (13th-14th century) showing passages from the Passion.

There is a tradition in the Valencian cathedral of taking out the Holy Chalice in procession on Holy Thursday, but the Corpus Christi procession is of greater popular fervor and that it does go through the streets of Valencia where the houses are adorned, the pavement of the street with plant decorations and parishioners pouring rose petals from the balconies as they passed. In addition, there is the Corpus Museum (Casa de las Rocas) in Valencia where objects from the festivities have been kept since the 15th century.

La Senyera, the flag of Valencians since the conquest of Jaime I, participates every October 9 in the Te Deum, a mass of thanksgiving for the commemoration of the conquest of Valencia by Jaime I in 1238. Currently the controversy It is served because the public governors want to paganize all the festivals.

It is common to find pregnant women circling the aisles and standing in the center of the ambulatory to pray to the Virgin of the Chair, who was originally on the door of the retrochoir, the same one that was dismantled in 1940. These women give 9 laps for the 9 months of gestation and in each lap they stop to pray to this Virgin also called the Good Birth.

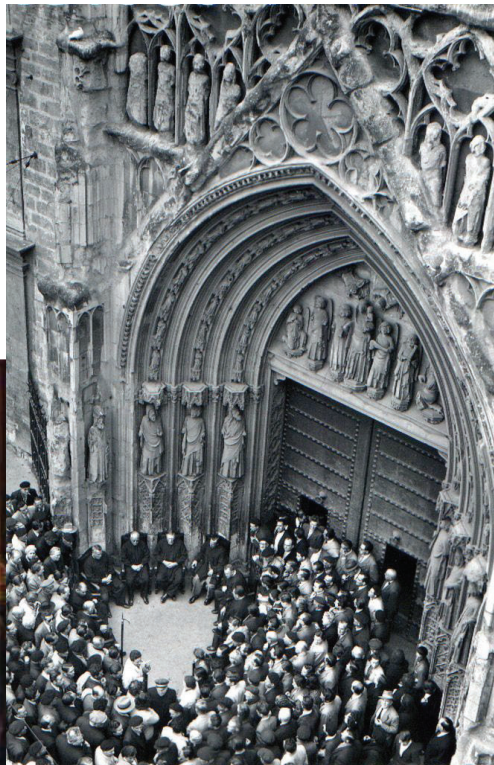


Imagen 4. Tribunal de las Aguas; cuadro de Ferrandiz y foto de mitad siglo XX Image 4. Tribunal de las Agua

Patrimonio Inmaterial de la Humanidad

Aunque el Tribunal de las Aguas de la Vega de Valencia se celebra todos los jueves a las 12:00 en sesión pública en la calle, tiene la particularidad de que se celebra en la Puerta de los Apóstoles y que está incluido en la lista de Patrimonio Inmaterial de la Humanidad.

Este tribunal consuetudinario, después de un proceso oral y en idioma valenciano, resuelve los problemas de agua impartiendo justicia por los síndicos de las 8 acequias que componen esta vega y sus resoluciones son inapelables. Tiene gran representación porque es la institución de justicia más antigua de Europa y aunque desde tiempo de los romanos se resolvían los problemas de riego de la huerta, la organización de esta institución data a partir de Al-Andalus, perfeccionada en los primeros momentos de la Conquista del Reino de Valencia por Jaime I.

Pinacoteca y Museo religioso

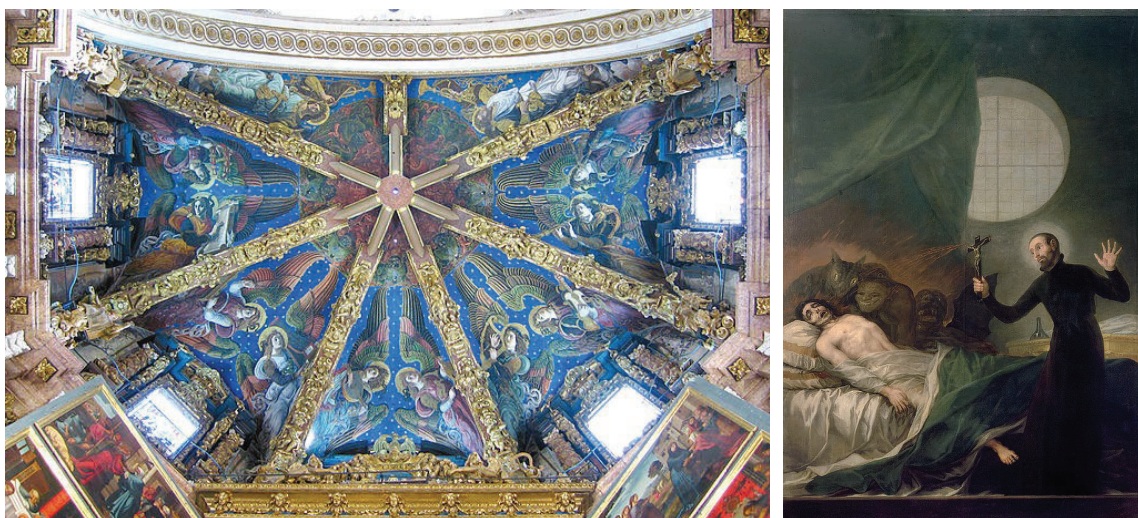


Imagen 5. Frescos renacentistas del presbiterio y cuadro de Goya
Image 5. Renaissance frescoes of the presbytery and painting by Goya

A pesar de que ya se ha comentado que la Catedral alberga reliquias tan importantes como las de la Pasión, también tiene otras como el brazo incorrupto de San Vicente Mártir (s. IV), patrono de la ciudad de Valencia y de otros tantos sitios de España, Italia, Portugal o Méjico. Sin embargo, es más representativa la colección pictórica y escultóricas, desde las pinturas góticas del reconditorio hasta los paneles de alabastro del trascoro por Juliá “lo Florentí”.

A nivel pictórico destacan dos obras de Francisco de Goya en la capilla del santo valenciano San Francisco de Borja, familiar de los papas valencianos Calixto III (Alfonso de Borja) y Alejandro VI (Rodrigo de Borja). Dichos cuadros fueron pintados en 1788 y son San Francisco de Borja y el moribundo impenitente y Despedida de San Francisco de Borja de su familia. En la misma capilla existe otro cuadro de Mariano Salvador Maella (1787). Aunque hay otras obras importantes de los pintores Juan de Juanes, de los Masip, o Yáñez de la Almedina y Fernando de los Llanos (colaboradores de Leonardo da Vinci), destacarían los frescos renacentistas (s. XV) de la plementería del presbiterio realizados por Nicola Pagano y Paolo de San Leocadio, aunque para dejarlos a la vista tuvieron que derribar la bóveda de Pérez Castiel (1674).

Unesco's Intangible Heritage of Humanity

Although the Tribunal de las Aguas de la Vega in Valencia is held every Thursday at 12:00 in a public session in the street, it has the particularity that it is held at the Apostles doorway and that it is included in the Intangible Cultural Heritage List.

This customary court, after an oral process and in the Valencian language, resolves the water problems by dispensing justice by the trustees of the 8 ditches that make up this valley and its resolutions are final. It is widely represented because it is the oldest justice institution in Europe and although irrigation problems in the country were solved since Roman times, the organization of this institution dates back to Al-Andalus, perfected in the first moments of the Conquest of the Kingdom of Valencia by James I of Aragon.

Art gallery and religious Museum

Although it has already been described that the Cathedral houses relics as important as those of the Passion, it also has others such as the incorrupt arm of Saint Vincent Martyr (4th century), patron of the city of Valencia and many other sites of Spain, Italy, Portugal or Mexico. However, the pictorial and sculptural collection is more representative, from the Gothic paintings of the rectory to the alabaster panels of the retrochoir by Juliá "lo Florentí".

At the pictorial level, two works by Francisco de Goya stand out in the chapel of the Valencian saint San Francisco de Borja, a relative of the Valencian popes Calixto III (Alfonso de Borja) and Alejandro VI (Rodrigo de Borja). These pictures were painted in 1788 and are Saint Francisco de Borja and the unrepentant dying man and Farewell of Saint Francisco de Borja from his family. In the same chapel there is another painting by Mariano Salvador Maella (1787). Although there are other important works by the painters Juan de Juanes, Masip father and son or Yáñez de la Almedina and Fernando de los Llanos (Leonardo da Vinci's collaborators), the Renaissance frescoes (15th century) in the presbytery plementery made by Nicola Pagano and Paolo de San Leocadio, although to expose them they had to demolish Pérez Castiel's vault (1674).



Imagen 6. Cimborio
Image 6. Dome

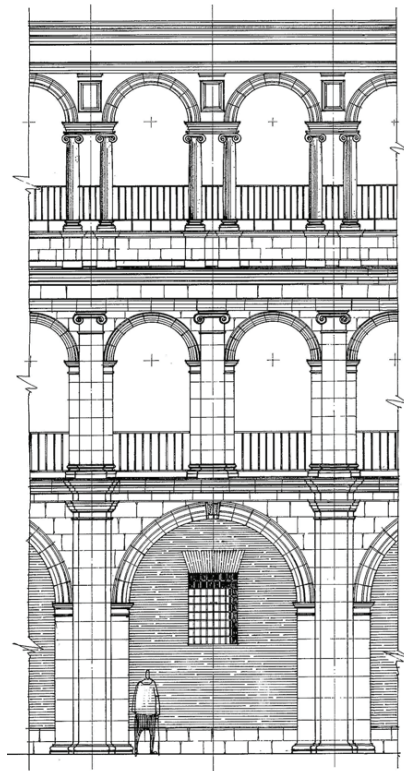


Imagen 7. Plano de la Logia de los Canónigos
Image 7. Plan of the Canons Lodge

Historia de la Arquitectura

La arquitectura en un monumento es lo que suele determinar el carácter del edificio, su importancia y/o evolución, sobre todo en los casos de edificios vivos y de varias centurias de existencia. La catedral de Valencia es un claro ejemplo de la evolución de la Arquitectura en territorio valenciano desde su conquista en el siglo XIII, ya que al ser un templo de relevancia y con recursos, siempre ha podido estar a la última moda. Desde la portada románica hasta la renovación neoclásica -solamente se puede observar en los frentes y capillas de las naves laterales, y girola-, en la Catedral predomina su planta y arquitectura gótica, destacando a Baldomar y Compte, ya que fueron los artífices de la construcción de la Lonja, único edificio Patrimonio de la Humanidad en Valencia. El Renacimiento también tiene su presencia con la Logia de los Canónigos y como Barroco, es el primer ejemplo de superposición de arquitectura en territorio valenciano a finales del siglo XVII. De hecho, solo los grandes maestros eran los que intervenían en la Catedral: Arnau Vidal, Nicolás de Ancona, los nombrados Baldomar y Compte, Konrad Rudolph, Andreu Juliá, Pere Balaguer, Martí Llobet, Miguel Porcar o Pérez Castiel en su historia constructiva y Alejandro Ferrant, Fernando Chueca, Julián Esteban o José Igancio Casar como arquitectos restauradores.

A pesar de la pérdida patrimonial en la Guerra del Francés en los inicios del siglo XIX y los incendios y saqueos de la Guerra Civil Española (1936-1939), la catedral de Valencia fue desprovista de su revestimiento neoclásico en la segunda mitad de siglo XX y se sigue con la búsqueda de una catedral que jamás existió (Cortés 2014). La obra de Gilabert, principal artífice de la reforma neoclásica de la Catedral a finales del siglo XVIII, es considerada como un ejemplo de cubrición de la arquitectura original, al igual que las intervenciones de los grandes de la Arquitectura como Alberti en San Francisco de Rímimi (Templo Malatestiano), de Vasari en el Refectorio de Nápoles, de Serlio en su Libro VII para modernizar palacios, de Palladio en la Basílica de Vicenza, de Borromini en San Juan de Letrán o de Piranesi en la iglesia romana de la Orden de Malta (Rivera 1997).

No obstante, en la historia de la restauración arquitectónica supone un ejemplo de desmontaje de arquitecturas superpuestas, en donde Alejandro Ferrant es la figura a destacar. En este tipo de casos en que el brazo ejecutor es tan o más importante que la figura del arquitecto, no hay que olvidar a las empresas pioneras de la restauración española como Francisco Blanco o Vicente Minguet; estos últimos a los que el patrimonio valenciano tanto tiene que agradecer y que con su profesionalidad y rectitud como personas son símbolo de una tradición del gremio de la restauración.



Imagen 8. Vista del tramo de los pies y entrada al Micalet
Image 8. View of last section and entrance to the Micalet



Imagen 9. El neoclásico en la Girola
Image 9. Neoclassicism on chevet

History of Architecture

The architecture in a monument is what usually determines the character of the building, its importance and / or evolution, especially in the case of living buildings and of several centuries of existence. The Cathedral of Valencia is a clear example of the evolution of Architecture in Valencian territory since its conquest in the 13th century, since being a temple of relevance and resources, it has always been able to be in the latest fashion. From the Romanesque façade to the neoclassical renovation - it can only be seen in the doorways and chapels of the side naves, and chevet-, the Cathedral is dominated by its plan and Gothic architecture, highlighting Baldomar and Compte, since they were the architects of the construction of the Lonja, the only World Heritage building in Valencia. The Renaissance also has its presence with the Lodge of the Canons and as Baroque, it is the first example of architectural overlap in Valencian territory at the end of the seventeenth century. In fact, only the great masters were those who has been working in the Cathedral: Arnau Vidal, Nicolás de Ancona, those named Baldomar and Compte, Konrad Rudolph, Andreu Juliá, Pere Balaguer, Martí Llobet, Miguel Porcar or Pérez Castiel in its constructive history and Alejandro Ferrant, Fernando Chueca, Julián Esteban or José Igancio Casar as restoration architects.

Despite the loss of heritage in the French War in the early 19th century and the fires and looting of the Spanish Civil War (1936-1939), the Cathedral of Valencia was stripped of its neoclassical cladding in the second half of the 20th century, and the search continues for a cathedral that never existed (Cortés 2014). The work of Gilibert, the main architect of the neoclassical reform of the Cathedral at the end of the 18th century, is considered an example of covering the original architecture, as are the interventions of the greats of architecture such as Alberti in San Francisco de Rimini (Malatestiano Temple), by Vasari in the Refectory of Naples, by Serlio in his Book VII to modernize palaces, by Palladio in the Basilica of Vicenza, by Borromini in Saint John Lateran or by Piranesi in the Roman church of the Order of Malta (Rivera 1997).

However, in the history of architectural restoration it is an example of dismantling of superimposed architectures, where Alejandro Ferrant is the figure to stand out. In this type of case in which the executing arm is as or more important than the figure of the architect, we must not forget the pioneering companies of Spanish restoration such as Francisco Blanco or Vicente Minguet; to which the Valencian heritage has so much to thank and that with their professionalism and rectitude as persons are a symbol of a tradition of the restoration union.



Imagen 9. Section of a lateral chapel (18th century)
Image 9. Section of a lateral chapel (18th century)



Imagen 10. Cúpula de una capilla lateral
Image 10. Dome of a lateral chapel

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Casar Pinazo, J.I. y Esteban Chapapría, J. «La restauración de la puerta del Miguelete de la Catedral de Valencia» *Loggia*, nº 9 (2000): 56-75
- Benito Goerlich, D. «Revestimientos barrocos valencianos». *El barroco en las catedrales españolas*. Institución Fernando el Católico (CSIC); Zaragoza (2010).
- Company, X. (dir.) «La catedral del Santo Cáliz» Centro de Arte de Época Moderna (2014).
- Cortés Meseguer, L. «La construcción del proyecto neoclásico de la catedral de Valencia». Tesis Doctoral inédita. Universitat Politècnica de València (2014).
- Esteban Chapapría, J. «Conservación y gestión en la catedral de Valencia». *Simposio Internacional La Europa de las catedrales. Conservación y gestión*. Edita Fundación del Patrimonio Histórico de Castilla y León. Valladolid, 2008.
- Oñate Ojeda, J. A. «La catedral de Valencia» Universidad de Valencia (2012).
- Plaza Penadés, J. « El Tribunal de las Aguas de la Vega de Valencia» *Revista de derecho civil valenciano* nº 2 (2007).
- Rivera Blanco, J. «Restauración arquitectónica desde los orígenes hasta nuestros días. Conceptos, teoría e historia» *Teoría e historia de la restauración*. Editorial Munilla Lería (1997): 102-135.
- Rohault de Fleury, Ch. «Mémoire sur les instruments de la Passion de N.-S. J.-C.». París, Librairie Liturgique-catholique (1870).
- Sanchis Sivera, José. «La Catedral de Valencia. Guía histórica y artística». Imprenta de Francisco Vives Mora (1909).

**ESTRATEGIAS Y CONSIDERACIONES DE MATERIALES SOSTENIBLES.
PROYECTO EJECUTIVO PARA LA DIGNIFICACIÓN DEL TEMPLO DE LA
MISERICORDIA “EL HOSPITALITO”**

**STRATEGIES AND CONSIDERATIONS OF SUSTAINABLE MATERIALS.
EXECUTIVE PROJECT FOR THE DIGNIFICATION OF THE TEMPLO DE LA
MISERICORDIA "EL HOSPITALITO".
PARTE 1**

Fabiola Colmenero Fonseca

Investigadora en el Instituto de Tecnología de los Materiales. ETS. Ingeniería de Edificación; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesora Investigadora, Arquitecto con Reconocimiento Laureado por la Universidad de Guanajuato, Master en Paisajismo, Jardinería y Espacio Público por la Universidad de Granada, Maestra en Ciudad y Espacio Público Sustentable por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente y Doctora en Artes por la Universidad de Guanajuato. E-mail: fcolmenerof@outlook.com

Ma. de la Luz Ávila Hernández

Investigadora Independiente. Guanajuato, Gto, Mexico. Arquitecto por la Universidad de Guanajuato, Maestra en Restauración de Sitios y Monumentos por la Universidad de Guanajuato. E-mail: loloavila69@hotmail.com

Luis Manuel Palmero Iglesias

Investigador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Área Edificación, Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular. Arquitecto Técnico e Ingeniero de Edificación, Master en Patología de la Edificación PhD por la Universitat Politècnica de València, Programa de Arquitectura, Sobresaliente Cum Laude. E-mail: lpalmero@csa.upv.es

Francisco Javier Cárcel Carrasco

Investigador en el Instituto de Tecnología de los Materiales. ETS. Ingeniería de Edificación; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Doctor Ingeniero Industrial. Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales. Ingeniero en electrónica por la Universidad de Valencia y Licenciado en Ingeniería mecánica y energética por la Universidad de París. Profesor Investigador E-mail: fracarc1@csa.upv.es

Graziella Bernardo

Investigadora científico-disciplinar en Ciencia y Tecnología de los Materiales en la Universidad de Basilicata. Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio presso l'Università degli. Studi della Basilicata. E-mail: graziella.bernardo@unibas.it

Abstract

To make a proposal for the intervention of sustainable building materials in the architectural restoration project, it is necessary to be studied from a multidisciplinary approach to a historic building. The restoration is guided by historical knowledge oriented to the search of the original text to reach a judgment on the objective qualities of the work; that is, they require an exhaustive investigation and intervention for the solution of its alterations and deteriorations. The monument should include "the set of things, of important interest, that have collective value", and that, in fact, constitute the architectural proposal of urban settlements. This perspective also addresses the relationship between the old and the new, between historic buildings and contemporary developments, in which it is proposed to meet current needs through functional adaptations in a way that does not damage the characteristics of historic facilities.

For the Restoration of the Templo del Hospitalito in the city of Irapuato, Gto. the correct guidelines and criteria for the project execution and the intervention of cultural assets are followed. In the stage of diagnosis of the alterations and deterioration of cultural property, the concepts that appear in the "Manual of preventive conservation of the cultural property in religious precincts" were analyzed (Morales R. 2017) Following the theory of thinning as the main tool to counteract the widespread practice of demolition "demolition in small separate sections, leaving open areas and rebuilding little or nothing", opening new views and beautifying the streets.

Kew words: Sustainable materials, Restoration Project, demolition, construction techniques, construction techniques.

Introducción

La protección del patrimonio no solo significa la permanencia de los bienes que lo constituyen, sino que también debe proteger primero un conjunto de valores; toda protección patrimonial debe basarse en la determinación de estos valores como paso previo a cualquier otra actuación. Por tanto, independientemente de las medidas de intervención específicas que deban tomarse en un momento dado, es muy importante desarrollar estrategias de investigación patrimonial.

De acuerdo con la metodología desarrollada, incluye las etapas preliminares de documentación, incluyendo gráficos y registros, así como el análisis de edificaciones, incluyendo estudios estratigráficos y en algunos casos, investigaciones documentales previas. También analiza la estructura y los aspectos materiales, así como las patologías que les afectan y sus causas. Todos estos estudios implican la generación de conocimiento a partir del cual se puede actuar. Estos pueden ser de dos tipos, en todo caso no son exclusivos, sino complementarios. Si un edificio o monumento necesita una intervención de restauración, se desarrolla un proyecto correspondiente en base a la información disponible.

El análisis es un instrumento básico para la conservación de edificios, pues nos permite reconocer y corregir los deterioros y el riesgo en el que se encuentra, el poder realizar una correcta intervención nos permitiría tener mejores resultados en los proyectos de rehabilitación desde el punto de vista científico, técnico y económico.

Para este caso de estudio, el inmueble intervenido “Templo del Hospitalito” mejor conocido como el Templo de Nuestra Señora de la Misericordia de los Indios Tarascos, ya que *“se encontraba junto a este Templo un Hospital de Indios, mismos que veneraban con mucha devoción una imagen de la Virgen de la Misericordia que era la patrona de la Cofradía fundada también por indígenas”* (García, Et, al). Su origen fundacional corresponde a la segunda mitad de siglo XVI y se erigió junto a otros tres templos: la Iglesia Parroquial, el Templo de San José y el Templo de la Soledad, todos en funcionamiento a partir de 1591, con lo cual se estableció una definida estructura religiosa y litúrgica con centro parroquial en la ciudad de Irapuato. Estos templos fueron los centros religiosos que atraían a la población a través de sus cofradías, festividades y obligaciones tanto sacramentales como devocionales.

De acuerdo con la Carta del ICOMOS para la interpretación y presentación de los sitios del patrimonio cultural (Enamecharter) (UNESCO 2007) Establecen 7 principios básicos para la restauración que fueron considerados en el planteamiento teórico.

Principio 1: el acceso y la comprensión (del público deben ser facilitados por la interpretación y la presentación);
Principio 2: fuentes de información (basar la interpretación y presentación en métodos científicos y académicos como en las tradiciones culturales vivas);

Principio 3: atención al entorno y al contexto (de los sitios del patrimonio cultural patrimonio cultural);

Principio 4: preservación de la autenticidad (véase ICOMOS 1994, El Documento de Nara);

Principio 5: planificación para la sostenibilidad (debe tener en cuenta la sostenibilidad social, financiera y medioambiental en el plan de interpretación de un sitio del patrimonio cultural);

Principio 6: preocupación por la inclusión (la interpretación y presentación deben surgir de la colaboración entre los profesionales del patrimonio, las comunidades anfitrionas y comunidades anfitrionas y asociadas del sitio y otras partes interesadas);

Principio 7: importancia de la investigación, la formación y la evaluación (para y por los profesionales del patrimonio para garantizar que la interpretación y la presentación sigan siendo y relevante).

Introduction

Heritage protection does not only mean the permanence of the assets that constitute it, but it must also first protect a set of values; all heritage protection must be based on the determination of these values as a prior step to any other action. Therefore, regardless of the specific intervention measures to be taken at any given time, it is very important to develop heritage research strategies.

According to the methodology developed, it includes the preliminary stages of documentation, including graphics and records, as well as the analysis of buildings, including stratigraphic studies and in some cases, previous documentary research. It also analyzes the structure and material aspects, as well as the pathologies affecting them and their causes. All these studies imply the generation of knowledge from which action can be taken. These can be of two types, in any case, they are not exclusive, but complementary. If a building or monument needs a restoration intervention, a corresponding project is developed based on the available information.

The analysis is a basic tool for the conservation of buildings because it allows us to recognize and correct the deterioration and the risk in which it is located, being able to make a correct intervention would allow us to have better results in rehabilitation projects from the scientific, technical and economic point of view.

For this case study, the intervened building "Templo del Hopsitalito" better known as the Temple of Our Lady of Mercy of the Tarascan Indians, since "there was next to this Temple a Hospital of Indians, who venerated with great devotion an image of the Virgin of Mercy that was the patroness of the Brotherhood also founded by Indians" (García, Et, al). Its foundational origin corresponds to the second half of the 16th century and it was erected together with three other temples: the Parish Church, the Temple of San José, and the Temple of Soledad, all of them in operation since 1591, which established a defined religious and liturgical structure with a parish center in the city of Irapuato. These temples were the religious centers that attracted the population through their confraternities, festivities, and sacramental and devotional obligations.

The ICOMOS Charter for the interpretation and presentation of cultural heritage sites (Enamecharter) (UNESCO 2007) establishes 7 basic principles for restoration that were considered in the theoretical approach.

Principle 1: access and understanding (of the public should be facilitated by interpretation and presentation);

Principle 2: information sources (base interpretation and presentation on scientific and scholarly methods, as well as on living cultural traditions);

Principle 3: attention to environment and context (of cultural heritage sites cultural heritage);

Principle 4: preservation of authenticity (see ICOMOS 1994, The Nara Document);

Principle 5: planning for sustainability (should take into account social, financial, and environmental sustainability in the interpretation plan for a cultural heritage site);

Principle 6: concern for inclusiveness (interpretation and presentation should emerge from collaboration between heritage professionals, communities, and the public).

between heritage professionals, the site's host and partner communities, and other stakeholders);

Principle 7: the importance of research, training, and evaluation (for and by heritage professionals to ensure that interpretation and presentation remain and relevant).

Importancia del conocimiento de los materiales y las técnicas de construcción

La restauración implica la preservación de todas las evidencias de la construcción, tanto las que han guiado nuestro conocimiento como las que no pueden ser descifradas, dejando intacta la posibilidad de utilizar futuras y diferentes formas de análisis para profundizar en el estudio del artefacto. El conocimiento de los materiales y de las técnicas de construcción es funcional para mantener la epifanía de la imagen de la construcción, cuyo valor permanece rígidamente anclado al lugar y al momento de la construcción según el criterio

Los materiales representan el elemento físico del proceso creativo, en el que se imprime el ingenio del artista, la cultura y el saber de una época y los acontecimientos históricos que han tenido lugar a lo largo del tiempo.

“El estudio de los monumentos requiere del auxilio de las disciplinas humanísticas, sociales, políticas, antropológicas, etnográficas y arqueológicas, todas ellas estudian con mayor profundidad la civilización y la cultura humana; las ciencias y disciplinas auxiliares han configurado un abanico de conocimientos, que inciden en el entendimiento de la Arquitectura del pasado; recalcamos el papel de la Química, ciencia aliada a la restauración” (Sánchez Martínez, Álvarez Gasca, MDE, 2011)

Los materiales de construcción son los que “sostienen” los valores de los inmuebles por lo que necesariamente deben ser conservados; si por alguna circunstancia se pierde esta materialidad, el bien cultural con todos sus valores dejará de existir. Además, es de suma importancia que los materiales originales sean conservados en cuanto sea posible, ya que atesoran aspectos culturales (por ejemplo: huellas de herramientas, elección de determinados materiales para usos específicos o la manera en que fueron utilizados para elaborar las instalaciones que resolvieron problemas de iluminación, hidráulicos o sanitarios), que los convierten en fuentes tangibles de la historia y la cultura, es decir, fuentes para conocer y entender la ideología, los problemas, la manera de resolverlos, la tecnología y la forma de vida de las generaciones que nos antecedieron (Chanfón, 1996). Asimismo, no debe olvidarse que, con el avance de la ciencia y la tecnología, es posible estudiar más profundamente e interpretar más ampliamente muchos de estos aspectos, lo que incrementa el conocimiento acerca de los que nos han antecedido.

Muy importante es estudiar la respuesta de los materiales de los edificios ante las acciones que se proponen para su restauración: Una de ellas que reviste gran relevancia, es la consolidación, intervención que tiene como finalidad devolver a los materiales la cohesión, firmeza y solidez que han perdido; esto se logra mediante la aplicación de sustancias denominadas consolidantes, las que deben ser compatibles con los materiales, en cuanto a su composición y su fluidez. Dado lo oneroso de esta acción, así como el riesgo de que no sea exitosa, generalmente se llevan a cabo estudios en laboratorio antes de que la consolidación se realice sobre el monumento. (Sánchez Martínez, Álvarez Gasca, MDE, 2011).

Consideraciones teóricas para el Proyecto de Restauración

Se entiende por deterioro todas aquellas alteraciones de los bienes culturales, que, ocurridas a través del tiempo, ponen en peligro su existencia, ya sea porque provocan su inestabilidad, porque desvirtúan su apariencia o porque impiden que los bienes sean comprendidos en su unidad. Los deterioros ocurren por varias causas: por la acción del ambiente, por la acción de agentes biológicos (flora o fauna) o por la acción del hombre mismo. En ocasiones el deterioro se deriva directamente de la propia constitución de los bienes culturales, materiales empleados o malas técnicas de manufactura.

Deterioro por el ambiente: Se conoce en términos generales como intemperización y es el resultado de la incidencia de la acción de los factores como la luz, la humedad, la temperatura, el viento y la contaminación, entre otros, sobre los bienes culturales. Para nuestro estudio nosotros los llamaremos extrínsecos, relativos a los factores físico-naturales.

Deterioro por agentes biológicos: Se trata en este caso de plantas o animales, que de diversas formas entran en contacto con los bienes culturales y pueden deteriorarlos. Así, se cuentan desde insectos y pequeños animales como roedores, hasta grandes mamíferos; por otra parte, el deterioro por vegetales puede ser ocasionado, tanto por microorganismos, como por algas, hongos y líquenes, así como por plantas superiores que pueden ser incluso arbustos o árboles. Para nuestro estudio nosotros los llamaremos extrínsecos, relativos a microorganismos y organismos biológicos.

Deterioro por la acción humana: El hombre puede convertirse en uno de los agentes más peligrosos de deterioro del patrimonio cultural, sea por acciones u omisiones intencionales o accidentales, derivadas principalmente de la ignorancia, la negligencia o el vandalismo. Para nuestro estudio nosotros extrínsecos relativo a la acción humana.

Importance of knowledge of materials and construction techniques.

Restoration implies the preservation of all the evidence of the construction, both those that have guided our knowledge and those that cannot be deciphered, leaving intact the possibility of using future and different forms of analysis to deepen the study of the artifact. The knowledge of materials and construction techniques is functional to maintain the epiphany of the image of the construction, whose value remains rigidly anchored to the place and the moment of construction according to the criterion. Materials represent the physical element of the creative process, on which the ingenuity of the artist, the culture and knowledge of an era, and the historical events that have taken place over time are imprinted.

"The study of monuments requires the help of humanistic, social, political, anthropological, ethnographic and archaeological disciplines, all of which study human civilization and culture in greater depth; the sciences and auxiliary disciplines have configured a range of knowledge, which affect the understanding of the Architecture of the past; we emphasize the role of Chemistry, a science allied to restoration" (Sánchez Martínez, Álvarez Gasca, MDE, 2011).

The construction materials are the ones that "sustain" the values of the buildings, so they must necessarily be preserved; if for any circumstance this materiality is lost, the cultural property with all its values will cease to exist. Furthermore, it is of utmost importance that the original materials be preserved as much as possible since they treasure cultural aspects (for example traces of tools, choice of certain materials for specific uses, or the way they were used to elaborate the installations that solved lighting, hydraulic or sanitary problems), which make them tangible sources of history and culture, that is, sources to know and understand the ideology, the problems, the way of solving them, the technology and the way of life of the generations that preceded us (Chanfón, 1996). Likewise, it should not be forgotten that, with the advance of science and technology, it is possible to study more deeply and interpret more broadly many of these aspects, which increases the knowledge about those who have gone before us.

It is very important to study the response of the materials of the buildings to the actions proposed for their restoration: One of them that is of great relevance is consolidation, an intervention whose purpose is to give back to the materials the cohesion, firmness, and solidity they have lost; this is achieved through the application of substances called consolidants, which must be compatible with the materials, in terms of their composition and fluidity. Given the costly nature of this action, as well as the risk of it being unsuccessful, laboratory studies are generally carried out before consolidation is performed on the monument. (Sánchez Martínez, Álvarez Gasca, MDE, 2011).

Theoretical Considerations for the Restoration Project

Deterioration is understood as all those alterations of cultural property that, over time, endanger its existence, either because they cause its instability, because they distort its appearance or because they prevent the property from being understood in its unity. Deterioration occurs for various reasons: by the action of the environment, by the action of biological agents (flora or fauna), or by the action of the man himself. Sometimes the deterioration derives directly from the constitution of the cultural property itself, the materials used, or poor manufacturing techniques.

Deterioration by the environment: It is known in general terms as weathering and is the result of the incidence of the action of factors such as light, humidity, temperature, wind, and pollution, among others, on cultural property. For our study, we will call them extrinsic, related to physical-natural factors. Deterioration by biological agents: These are plants or animals, which in various ways come into contact with cultural property and can deteriorate it. On the other hand, deterioration by plants can be caused by microorganisms, algae, fungi, and lichens, as well as by higher plants, including shrubs and trees. For our study, we will call them extrinsic, related to microorganisms and biological organisms. Deterioration by human action: Man can become one of the most dangerous agents of deterioration of cultural heritage, either by intentional or accidental actions or omissions, derived mainly from ignorance, negligence, or vandalism. For our study we extrinsic relating to human action.

Metodología de intervención: Proyecto Ejecutivo de Restauración.

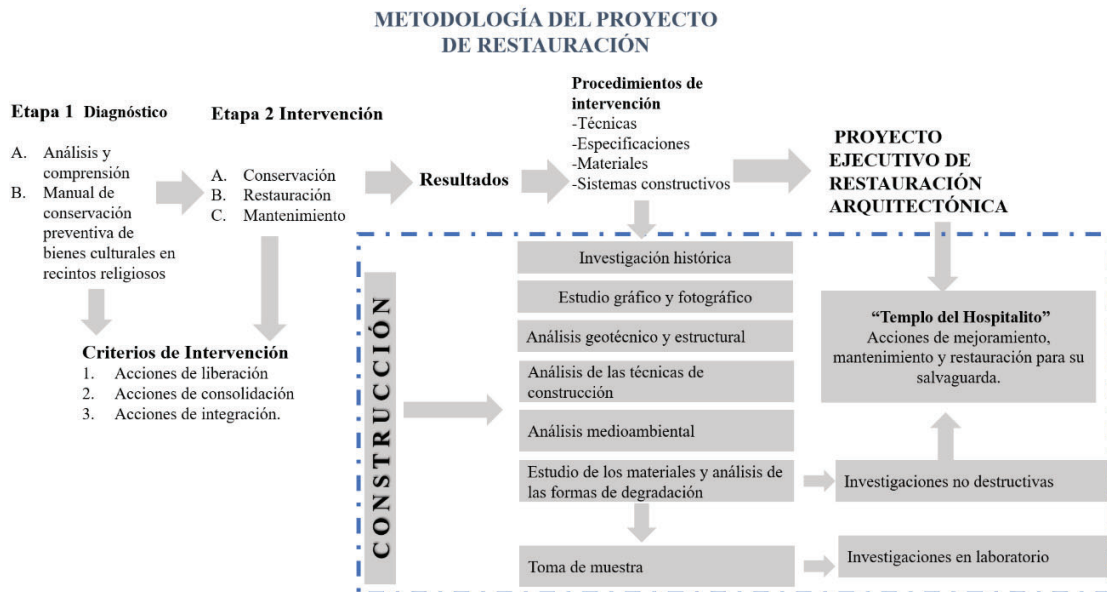
En el proyecto de restauración se adoptaron tres grados de intervención: la conservación, con la aplicación de procedimientos técnicos cuya finalidad fue la de detener los mecanismos de alteración e impedir que surgieran nuevos deterioros; la restauración, con la aplicación de procedimientos técnicos para restablecer la unidad formal del bien, y el mantenimiento, con acciones posteriores a los trabajos de conservación y restauración.

En cuanto a los criterios de intervención adoptados estos fueron: acciones de liberación, que se hicieron con objetividad pensando en que éstas no pusieran en riesgo los valores históricos o estéticos del inmueble; acciones de consolidación, con el fin de conservar la solidez de los elementos que se encontraban deteriorados; acciones de integración, referente a poner partes faltantes nuevas en algún elemento; y acciones de reintegración, es decir, volver a colocar piezas o terminados finales –pintura, repellados, aplanados, impermeabilizantes, etc.– que se hubiesen perdido por el deterioro. (Colmenero, Ávila, Preciado, 2022).

Intervention methodology: Executive Restoration Project.

In the restoration project, three degrees of intervention were adopted: conservation, with the application of technical procedures whose purpose was to stop the mechanisms of alteration and prevent new deterioration; restoration, with the application of technical procedures to reestablish the formal unity of the property; and maintenance, with actions after the conservation and restoration work.

As for the intervention criteria adopted, these were: liberation actions, which were carried out objectively so as not to jeopardize the historical or aesthetic values of the building; consolidation actions, to preserve the solidity of the deteriorated elements; integration actions, referring to the insertion of new missing parts in some element; and reintegration actions, that is, the reinsertion of pieces or final finishes -painting, plastering, plastering, waterproofing, etc.- that had been lost due to deterioration (Colmenero, Avila, Colmenero and Avila, 2006). (Colmenero, Avila, Preciado, 2022).



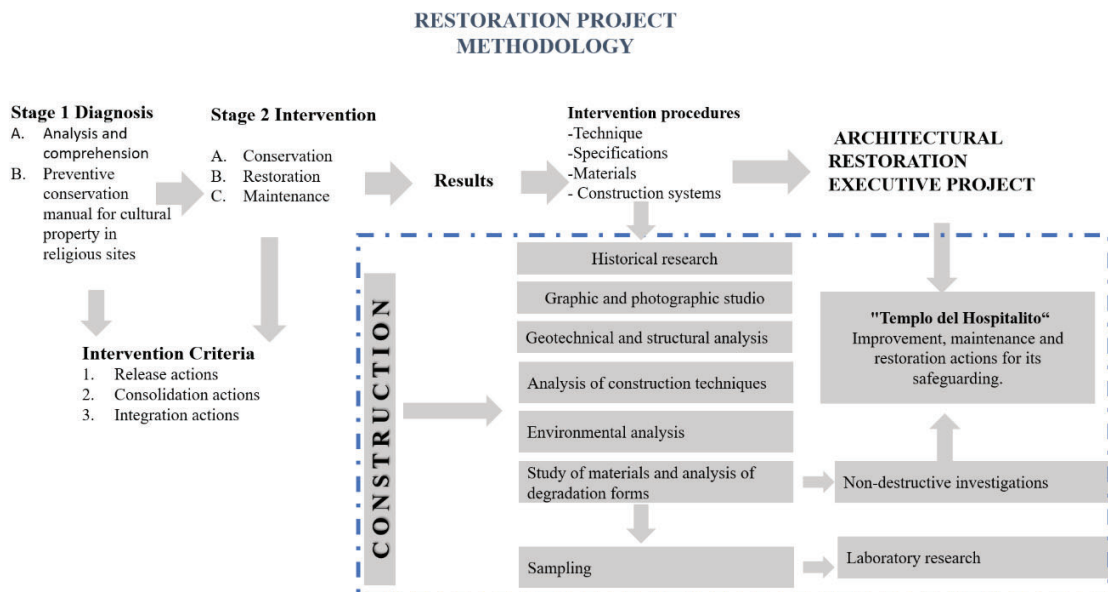


Imagen 1. Metodología del Proyecto de Restauración Arquitectónica con enfoque multidisciplinar. Fuente: Elaboración propia de acuerdo a la metodología implementada por Ávila, Colmenero, Preciado 2021 y Bernardo 2021

Image 1. Methodology of the Architectural Restoration Project with a multidisciplinary approach. Source: Own elaboration according to the methodology implemented by Avila, Colmenero, Preciado 2021 and Bernardo 2021.

Actividad Práctica

Descripción del diagnóstico del estado actual, alteraciones y deterioros (Primera etapa)

Practical Activity

Description of the diagnosis of the current state, alterations and deterioration (First stage)

Investigación histórica (Ver Colmenero, Ávila, Preciado, 2022. Manifestations of cultural and religious heritages. "The Hospitalito in Irapuato, Gto.")

Historical research (See Colmenero, Ávila, Preciado, 2022. Manifestations of cultural and religious heritages. "The Hospitalito in Irapuato, Gto.")

El Templo de la Misericordia, conocido como "El Hospitalito" ubicado en el Centro Histórico de la ciudad de Irapuato, Gto. cuyos valores y atributos culturales van más allá de la noción de conjunto, está registrado como Patrimonio Cultural de la ciudad. Su origen fundacional corresponde a la segunda mitad del siglo XVI y fue erigido junto con otros tres templos: La Iglesia Parroquial, el Templo de San José y el Templo de la Soledad, estableciendo así una estructura religiosa y litúrgica definida con un centro parroquial. Como parte del programa de dignificación del templo "El Hospitalito", se realiza un proyecto ejecutivo que contempla la iluminación escénica del exterior y acciones de mejoramiento, mantenimiento y restauración para su resguardo. El proyecto ejecutivo consta de dos etapas: diagnóstico e intervención. El diagnóstico se basa en el análisis y comprensión de los conceptos descritos en el "Manual de conservación preventiva de bienes culturales en recintos religiosos". En la intervención se adoptan tres grados de intervención: conservación, restauración y mantenimiento. Y tres criterios de intervención: acciones de liberación, consolidación e integración. Como resultado, se obtienen los procedimientos de intervención (técnicas, especificaciones, materiales, sistema constructivo) que se adoptan para el proyecto ejecutivo de restauración, que debe hacerse con respeto, sin despreciar el valor histórico y sin dejar dudas de la autenticidad del bien, lo que supone una gran responsabilidad para el bien cultural y la sociedad. (Colmenero, Ávila, Preciado, 2022).

The Templo de la Misericordia, known as "El Hospitalito" located in the Historic Center of the city of Irapuato, Gto. whose cultural values and attributes go beyond the notion of a group, is registered as Cultural Heritage of the city. Its foundational origin corresponds to the second half of the XVI century and it was erected together with three other temples: The Parish Church, the Temple of San José and the Temple of Soledad, thus establishing a defined religious and liturgical structure with a parish center. As part of the program of dignification of the temple "El Hospitalito", an executive project is being carried out, which contemplates the scenic illumination of the exterior and actions of improvement, maintenance and restoration for its safeguarding. There are two stages within the executive project: diagnosis and intervention. The diagnosis is based on the analysis and understanding of the concepts described in the "Manual of preventive conservation of cultural property in religious precincts". In the intervention, three degrees of intervention are adopted: conservation, restoration and maintenance. And three intervention criteria: liberation, consolidation and integration actions. As a result, the intervention procedures are obtained (techniques, specifications, materials, construction system) that are adopted for the executive project of restoration, which must be done with respect, without disregarding the historical value and leaving no doubt of the authenticity of the property, which means that there is a great responsibility for the cultural property and society. (Colmenero, Ávila, Preciado, 2022)

Estudio gráfico y fotográfico/ Graphic and photographic studio



Imagen 2. Registro fotográfico del estado actual 2017. Elaborado por: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas y M.R.S. Arq. Eloisa Galván / Image 1. Photographic record of the current state 2017. Prepared by: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas and M.R.S. Arq. Eloisa Galván

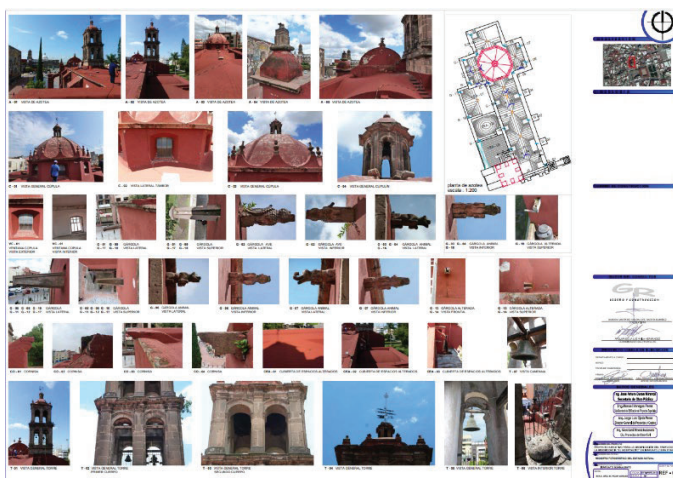
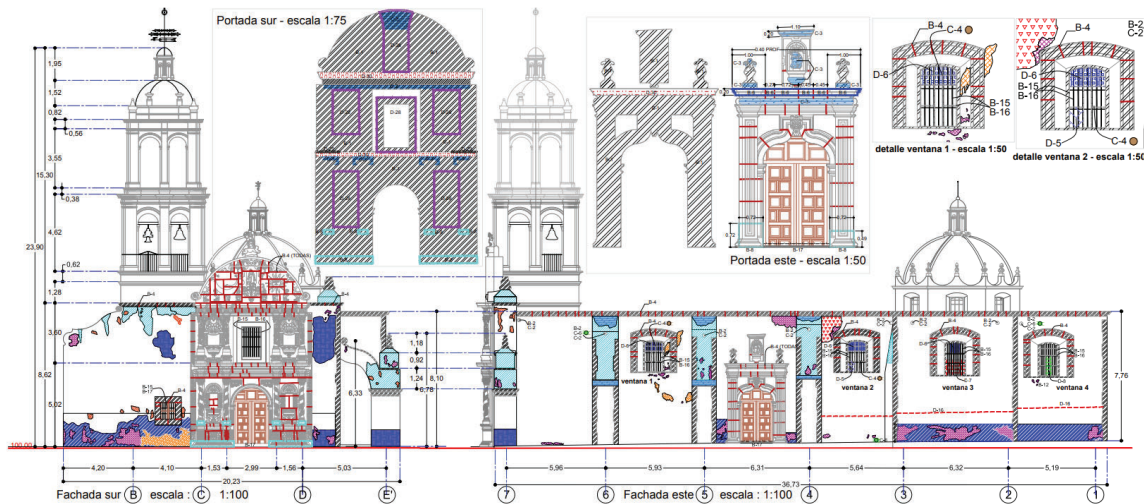


Imagen 3. Registro fotográfico del estado actual 2017. Elaborado por: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas y y M.R.S. Arq. Eloisa Galván / Image 2. Photographic record of the current state 2017. Prepared by: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas and y M.R.S. Arq. Eloisa Galván

Estudio de los materiales y análisis de las formas de degradación / Study of materials and analysis of degradation forms



SIMBOLOGÍA	CLAVE	ALTERACIÓN Y/O DETERIORO	SIMBOLOGÍA	CLAVE	ALTERACIÓN Y/O DETERIORO	SIMBOLOGÍA	CLAVE	ALTERACIÓN Y/O DETERIORO
A. INTRÍNSECOS: RELATIVOS A LA ESTRUCTURA			C. EXTRÍNSECOS: RELATIVOS A MICROORGANISMOS Y ORGANISMOS BIOLÓGICOS			D. EXTRÍNSECOS: RELATIVO A LA ACCIÓN HUMANA		
[Symbol]	A-1	FISURA EN CANTERA	[Symbol]	C-1	MICROORGANISMO (LQUEN, MUJGO, HONGOS)	[Symbol]	D-19	CLAVOS, ALCAYATAS, ABRAZADERAS, ETC
[Symbol]	A-2	GRETA EN CANTERA	[Symbol]	C-2	MICROORGANISMO (LQUEN, MUJGO, HONGOS) EN GARGOLA DE CANTERA	[Symbol]	D-20	INTEGRACION DE ESCOMBRO, MATERIA DE CONSTRUCCION, BASURA, ETC
[Symbol]	A-3	DESPLOME EN CANTERA	[Symbol]	C-3	MANCHA DE SIVANO DE PALOMA	[Symbol]	D-21	INTEGRACION DE ORIN HUMANO
[Symbol]	A-4	FISURA EN MURDO	[Symbol]	C-4	TRONCO DE ARBOL SECO	[Symbol]	D-22	INTEGRACION DE GOMA DE MASCAR
[Symbol]	A-4	GRETA EN MURDO	[Symbol]	C-4	ESPECIE VEGETAL SUPERIOR (ARBUSTO)	[Symbol]	D-23	INTEGRACION DE TUBERIA DE COBRE
B. EXTRÍNSECOS: RELATIVOS A LOS FACTORES FISICO- NATURALES			[Symbol]	C-4	ESPECIE VEGETAL INFERIOR (PLANTA)	[Symbol]	D-24	PERDIDA DE SECCION DE GARGOLA DE CANTERA POR ACCION HUMANA
[Symbol]	B-1	MANCHAS NEGRAS DE HUMEDAD EN CANTERA	[Symbol]	C-7	PALMA DE INSECTO	[Symbol]	D-24	INTEGRACION DE LUMINARIA EN DESUSO, EN TORRE
[Symbol]	B-2	MANCHAS NEGRAS DE HUMEDAD EN GARGOLA DE CANTERA	D. EXTRÍNSECOS: RELATIVO A LA ACCIÓN HUMANA			[Symbol]	D-26	INTEGRACION DE LUMINARIA EN DESUSO, EN PREIL O CÚPULA
[Symbol]	B-3	MANCHAS NEGRAS DE HUMEDAD EN PECHO DE PALOMA DE BARRO	[Symbol]	D-1	INTEGRACION DE AFLANADOS CON DIFERENTE TEXTURA Y GROSOR EN MURO	[Symbol]	D-27	PIEZA DE CANTERA DAMADA POR ROCE DE GUERRA
[Symbol]	B-4	PERDIDA O DISGRAGACION DE JUNTAS ENTRE PIEZAS DE CANTERA	[Symbol]	D-2	INTEGRACION DE AJANTAS AJENAS A ORIGINALES CON MATERIALES DIVERSOS	[Symbol]	D-28	INTEGRACION DE MALLA ANTI PALOMAS EN CANTERA EN MAL ESTADO
[Symbol]	B-5	PERDIDA TOTAL DE ESTEREOTOMIA DE PIEZA DE CANTERA	[Symbol]	D-3	PERFORACION DE PIEZA DE CANTERA	[Symbol]	D-29	INTEGRACION DE PLAS ANTI PALOMAS EN CANTERA EN MAL ESTADO
[Symbol]	B-6	PERDIDA PARCIAL DE ESTEREOTOMIA DE PIEZA DE CANTERA	[Symbol]	D-4	VERDIO ROTO O FALTANTE EN CANCELLEÑA DE PUERTA Y/O VENTANA	[Symbol]	D-30	FALTA DE ENTORTEADO EN CORNISAS Y SUPERFICIES PLANAS
[Symbol]	B-7	PIEZA DE CANTERA DESPORTILLADA (EN EL BORDE)	[Symbol]	D-4	INTEGRACION DE MUESTA Y MALLA DE GALLINERO EN CANCELLEÑA DE VENTANA	[Symbol]	D-31	FALTA DE IMPERMEABILIZANTE SOBRE PECHO DE PALOMA DE BARRO
[Symbol]	B-8	EXFOLIACION Y DESGASTE EN PIEZA DE CANTERA	[Symbol]	D-5	INTEGRACION DE MURETE EN VANO DE VENTANA	[Symbol]	D-32	INTEGRACION DE CABLE DE ACERO, COMO RETENIDA
[Symbol]	B-9	HUMEDAD POR FILTRACION Y ESCURRIMIENTO	[Symbol]	D-6	DISPARIDAD DE VORVO EN TEXTURA Y TRANSPARENCIA EN CANCELLEÑA DE PUERTA Y/O VENTANA	[Symbol]	D-33	DESPRENDIMIENTO DE IMPERMEABILIZANTE SOBRE PETATELO
[Symbol]	B-10	HUMEDAD POR CAPILARIDAD	[Symbol]	D-6	INTEGRACION DE TUBERIA ELECTRICA DE 2" DE PVC EN DESUSO	[Symbol]	D-34	PERDIDA DE ESTRUCTURA METALICA EN DREN PERIMETRAL
[Symbol]	B-11	DESPRENDIMIENTO DE PINTURA	[Symbol]	D-8	INTEGRACION DE TUBERIA ELECTRICA DE 1" Y 1/2" ELECTRICA EN USO	[Symbol]	D-35	REGISTROS DE PIE PARA RESGUARDO APARATOS ELECTRICOS, EN DESUSO
[Symbol]	B-12	DESPRENDIMIENTO DE AFLANADO EN MURO (1 CM A 3 DE CM)	[Symbol]	D-10	INTEGRACION DE CAJA DE REGISTRO ELECTRICO DE 8MM CMS CON MEDIDOR Y CENTRO DE CARGA	[Symbol]	D-36	PERDIDA DE ESTRUCTURA METALICA EN REGISTROS DE PIE
[Symbol]	B-13	DESPRENDIMIENTO DE AFLANADO EN MURO (1,5 CM A 3,5 CM) 4,0 CM	[Symbol]	D-11	INTEGRACION DE CABLE ELECTRICO APARENTE, CON DIFERENTES GROSORES	[Symbol]	D-37	TALLA EN CANTERA
[Symbol]	B-14	ABOMBAMIENTO DE AFLANADO	[Symbol]	D-12	INTEGRACION DE TUBERIA DE FOGO ELECTRICA EN DESUSO			
[Symbol]	B-15	PROTECCION DE HERRERIA ONDADA Y MANCHADA	[Symbol]	D-13	INTEGRACION DE TUBERIA DE FOGO ELECTRICA EN DESUSO			
[Symbol]	B-16	CANCELLEÑA DE VENTANA EN MAL ESTADO POR INTERPERISMO (DECOLORACION, PERDIDA DE MASTIQUE, ETC)	[Symbol]	D-14	INTEGRACION DE PINTURA DE ACEITE SOBRE GRAFITO			
[Symbol]	B-17	FUGACION DE MADERA EN PUERTA POR INTERPERISMO (PC-01 Y PC-02)	[Symbol]	D-15	INTEGRACION DE LAMINA Y TUBERIA GALVANIZADA EN GARGOLA DE S.A.P.			
			[Symbol]	D-16	GUARDAPOLVO DESMONTADO Y CON OTRO TONDO DE PINTURA			
			[Symbol]	D-17	GRAFITO SOBRE PINTURA			
			[Symbol]	D-18	GRAFITO SOBRE CANTERA			

Imagen 4. Levantamiento de deterioros intrínsecos y extrínsecos del estado actual fachada sur y este- Registro de materiales, 2017. Elaborado por: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas y M.R.S. Arq. Ma De La Luz Ávila H/ Imagen 4. Levantamiento de deterioros intrínsecos y extrínsecos del estado actual fachada sur y este- Registro de materiales, 2017. Elaborado por: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas y M.R.S. Arq. Ma De La Luz Ávila H

Fachada sur

En la parte alta de los muros se observa deterioro provocado por escurrimiento de agua debido a la falta de plantillas en cornisas y superficies planas. En la parte baja de los muros hay presencia de humedades permanentes por capilaridad debido a la incidencia de agua proveniente de los chorros de la fuente cercana existente en el atrio. La presencia de humedad por escurrimientos afecta a los materiales pétreos en cornisas y en enmarcamiento de ventanas, lo cual se evidencia en manchas, suciedad y disgregación de boquillas entre juntas. Así mismo, las humedades por escurrimiento y por capilaridad traen como consecuencia el desprendimiento de aplanados de 1 a 3 cm de espesor y en algunas áreas se puede visualizar el desprendimiento de aplanados entre 3 y 6 cm. A la vez existe una presencia de resanes

de cemento integrados en una intervención realizada con anterioridad. Se registran áreas de desprendimiento de pintura. Los elementos de herrería presentes en los vanos de la fachada se encuentran en mal estado y con presencia de óxido. La cancelería y carpintería se encuentran en mal estado, debido a su exposición al intemperismo, ya que no existen acciones de mantenimiento adecuadas ni constantes.

Portada de cantería de fachada sur

Debido a la humedad constante en la portada de cantería hay presencia de manchas y microorganismos, así como crecimiento de especies vegetativas. Todo ello contribuye a la pérdida o disgregación de boquillas entre piezas de cantería y al desportillamiento del borde de las piezas. Una de las causas de este deterioro es debido a la ausencia o pérdida de plantillas, bruñidos e impermeabilizantes en cornisas y superficies planas, lo que ha ocasionado también la pérdida parcial de algunas piezas de cantería. El desportillamiento del borde y la pérdida parcial de piezas de cantería provoca una discontinuidad en la lectura de los detalles y elementos arquitectónicos propios de la portada. La suciedad en los elementos pétreos califica como una alteración visual constante en la totalidad de la portada que carece de un mantenimiento adecuado y constante. Se registra la presencia de barrera contra aves en mal estado, tanto malla como púas, lo que sumado a la falta de barreras en otros lugares provocan la presencia de palomas, por lo que se observan manchas de guano de esta ave, en especial en las cornisas y en el remate semicircular. La puerta de acceso presenta un deterioro notorio debido a su exposición directa al medio ambiente, e indirectamente por la presencia del agua proveniente de los chorros provenientes de la fuente cercana existente en el atrio, por lo que se puede decir que el deterioro no solamente es estético, sino a la estructura misma.

Fachada este

En los muros de los contrafuertes prevalece el deterioro provocado por la humedad debido a los constantes escurrimientos de agua por las bajadas de agua pluvial. También se presentan humedades permanentes por filtración por capilaridad en algunos tramos de la fachada, no en todos, ocasionando el desprendimiento de aplanados de 1 a 3 cm de espesor y en algunas áreas se puede visualizar el desprendimiento de aplanados entre 3 y 6 cm. A la vez se registra cambio de pintura, de cal a de aceite, pues a una altura de aproximadamente un metro se ha requerido repintar para ocultar las humedades por capilaridad que se presentan. La humedad por escurrimiento afecta directamente a los materiales pétreos, especialmente a la de los contrafuertes, lo cual se evidencia en manchas y suciedad. Además, detona el florecimiento de especies vegetativas. Se observa el crecimiento de troncos en algunos vanos que causan alteración y deterioro a nivel estructural. Se observa disgregamiento o falta de boquillas entre juntas de cantería, en cornisas y en enmarcamiento de vanos. La alteración y deterioro por parte del hombre se refleja en algunos muros de contrafuertes, con la presencia de la integración de cableado y tuberías eléctricas aparentes, además de un registro adosado a un muro que contiene el medidor. Los elementos de herrería presentes en los vanos de la fachada se encuentran en mal estado y con presencia de óxido. La cancelería se encuentra en mal estado debido a su exposición al intemperismo, ya que no existen acciones de mantenimiento adecuadas ni constantes.

Portada de cantería de fachada este.

Se presentan las mismas características de la portada de la fachada sur: humedad constante, presencia de manchas y microorganismos, pérdida o disgregación de boquillas entre piezas de cantería y desportillamiento del borde de las piezas, ocasionado por ausencia o pérdida de plantillas, bruñidos e impermeabilizantes en cornisas y superficies planas, lo que ha ocasionado también la pérdida parcial de algunas piezas. El desportillamiento del borde de piezas y la pérdida parcial de piezas provoca una discontinuidad en la lectura de los detalles y elementos arquitectónicos propios de la portada. La falta de barreras contra aves provoca la presencia de palomas por lo que se observan manchas de guano, en especial en la cornisa de la portada y en el elemento de remate de la portada. La cornisa del elemento de remate se

encuentra mal colocado y desnivelado. Se induce que su disposición es voluntaria. La puerta de acceso presenta un deterioro notorio debido a su exposición directa al medio ambiente. Se puede decir que el deterioro no solamente es estético, sino a la estructura misma.

South façade

In the upper part of the walls, there is deterioration caused by water runoff due to the lack of stencils on cornices and flat surfaces. In the lower part of the walls, there is permanent humidity due to capillary action caused by water from the jets of the nearby fountain in the atrium. The presence of moisture from runoff affects the stone materials in cornices and window frames, which is evidenced by stains, dirt, and disintegration of grout between joints. Likewise, moisture due to runoff and capillary action causes the detachment of 1 to 3 cm thick plaster and in some areas, the detachment of 3 to 6 cm thick plaster can be seen. At the same time, there is the presence of cement patches integrated into a previous intervention. There are areas of paint detachment. The ironwork elements present in the façade openings are in poor condition and have rust. The window and door frames and carpentry are in poor condition, due to their exposure to weathering, since there are no adequate or constant maintenance actions.

South façade masonry doorway

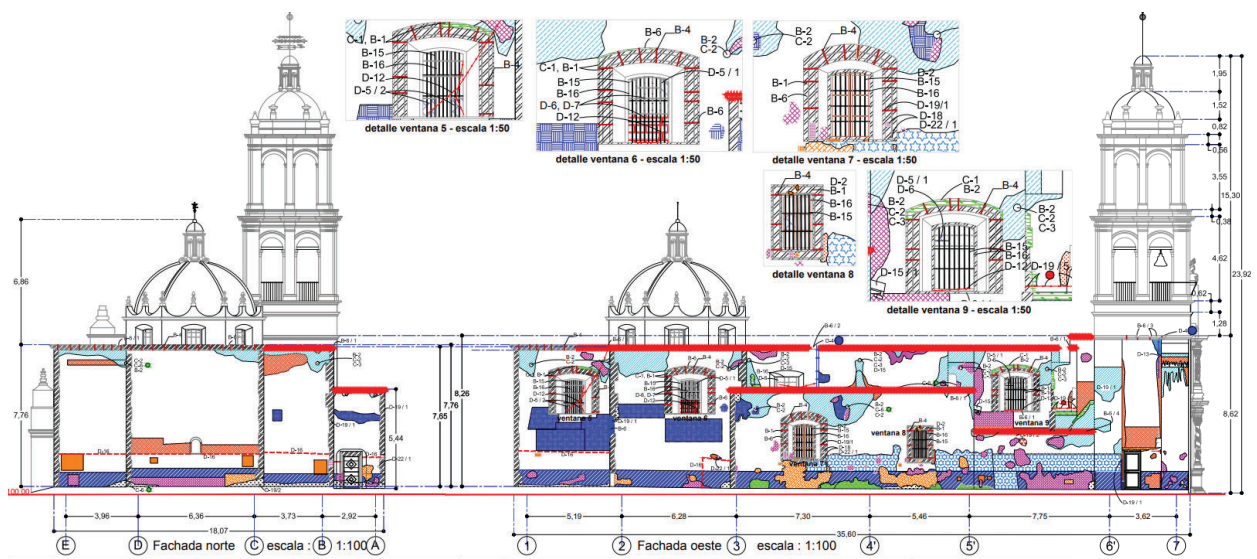
Due to the constant humidity on the stonework façade, there are stains and microorganisms, as well as the growth of vegetative species. All this contributes to the loss or disintegration of grout between pieces of masonry and to the chipping of the edge of the pieces. One of the causes of this deterioration is the absence or loss of templates, burnishing, and waterproofing on cornices and flat surfaces, which has also caused the partial loss of some pieces of stonework. The chipping of the edge and the partial loss of masonry pieces causes a discontinuity in the reading of the details and architectural elements of the façade. The dirt in the stone elements qualifies as a constant visual alteration in the totality of the cover that lacks adequate and constant maintenance. There is a bird barrier in poor condition, both mesh, and barbed wire, which added to the lack of barriers in other places, causes the presence of pigeons, so there are stains of guano of this bird, especially on the cornices and on the semicircular top. The access door shows a notorious deterioration due to its direct exposure to the environment, and indirectly by the presence of water from the jets coming from the nearby fountain in the atrium, so it can be said that the deterioration is not only aesthetic but to the structure itself.

East façade

In the walls of the buttresses prevails the deterioration is caused by humidity due to the constant runoff of water from the rainwater downspouts. There is also permanent humidity due to capillary filtration in some sections of the façade, not in all of them, causing the detachment of 1 to 3 cm thick plaster and in some areas, it is possible to see the detachment of plaster between 3 and 6 cm thick. At the same time, there has been a change of paint, from lime to oil paint, since at a height of approximately one meter, repainting has been required to hide the capillary dampness that is present. Moisture from runoff directly affects the stone materials, especially the buttresses, which is evidenced by stains and dirt. In addition, it triggers the flowering of vegetative species. The growth of trunks is observed in some spans causing alteration and deterioration at the structural level. There is disintegration or lack of grout between masonry joints, in cornices, and framing of openings. The alteration and deterioration by man are reflected in some buttress walls, with the presence of the integration of wiring and apparent electrical pipes, in addition to a register attached to a wall that contains the meter. The ironwork elements present in the façade openings are in poor condition and have rust. The window and door frames are in poor condition due to exposure to weathering, since there are no adequate or constant maintenance actions.

Masonry façade on the east façade.

The same characteristics of the south façade façade are present: constant humidity, presence of stains and microorganisms, loss or disintegration of grout between masonry pieces and chipping of the edge of the pieces, caused by the absence or loss of templates, burnishing and waterproofing on cornices and flat surfaces, which has also caused the partial loss of some pieces. The chipping of the edge of pieces and the partial loss of pieces causes a discontinuity in the reading of the details and architectural elements of the façade. The lack of barriers against birds causes the presence of pigeons so that guano stains are observed, especially in the cornice of the doorway and in the finishing element of the doorway. The cornice of the finishing element is poorly positioned and uneven. It is induced that its disposition is voluntary. The access door presents a notorious deterioration due to its direct exposure to the environment. It can be said that the deterioration is not only aesthetic but to the structure itself.



SIMBOLOGÍA	CLAVE	ALTERACIÓN Y/O DETERIORO	SIMBOLOGÍA	CLAVE	ALTERACIÓN Y/O DETERIORO	SIMBOLOGÍA	CLAVE	ALTERACIÓN Y/O DETERIORO
A. INTRÍNSECOS: RELATIVOS A LA ESTRUCTURA			C. EXTRÍNSECOS: RELATIVOS A MICROORGANISMOS Y ORGANISMOS BIOLÓGICOS			D. EXTRÍNSECOS: RELATIVO A LA ACCIÓN HUMANA		
[Symbol]	A-1	FISURA EN CANTERA	[Symbol]	C-1	MICROORGANISMO (LUGEN, MUJGO, HONGOS)	[Symbol]	D-19	CLAVOS, ALCAYATAS, ABRAZADERAS, ETC
[Symbol]	A-2	GRETA EN CANTERA	[Symbol]	C-2	MICROORGANISMO (LUGEN, MUJGO, HONGOS) EN GARGOLA DE CANTERA	[Symbol]	D-20	INTEGRACION DE ESCOMBROS, MATERIAL DE CONSTRUCCION, BASURA, ETC
[Symbol]	A-3	DESPLOJE EN CANTERA	[Symbol]	C-3	MANCHA DE SIVANO DE PALMA	[Symbol]	D-21	INTEGRACION DE ORIN HUMANO
[Symbol]	A-4	FISURA EN MURO	[Symbol]	C-4	TANCO DE ARBOL SECO	[Symbol]	D-22	INTEGRACION DE GOMA DE MASCAR
[Symbol]	A-4	GRETA EN MURO	[Symbol]	C-4	ESPECIE VEGETAL SUPERIOR (ARBUSTO)	[Symbol]	D-23	INTEGRACION DE TUBERIA DE COBRE
B. EXTRÍNSECOS: RELATIVOS A LOS FACTORES FISICO- NATURALES			[Symbol]	C-4	ESPECIE VEGETAL INFERIOR (PLANTA)	[Symbol]	D-24	PERDIDA DE SECCION DE GARGOLA DE CANTERA POR ACCION HUMANA
[Symbol]	B-1	MANCHAS NEGRAS DE HUMEDAD EN CANTERA	[Symbol]	C-7	PANAL DE INSECTO	[Symbol]	D-25	INTEGRACION DE LUMINARIA EN DESUSO, EN TORRE
[Symbol]	B-2	MANCHAS NEGRAS DE HUMEDAD EN GARGOLA DE CANTERA	D. EXTRÍNSECOS: RELATIVO A LA ACCIÓN HUMANA			[Symbol]	D-26	INTEGRACION DE LUMINARIA EN DESUSO, EN PREIL O CÚPULA
[Symbol]	B-3	MANCHAS NEGRAS DE HUMEDAD EN PECHO DE PALOMA DE BARRIO	[Symbol]	D-1	INTEGRACION DE AFLANADOS CON DIFERENTE TEXTURA Y GROSOR EN MURO	[Symbol]	D-27	PIEZA DE CANTERA DAMADA POR ROCE DE GUERRA
[Symbol]	B-4	PERDIDA O DISREGACION DE JUNTAS ENTRE PIEZAS DE CANTERA	[Symbol]	D-2	INTEGRACION DE ALTAS AJENAS A ORIGINALES CON MATERIALES DIVERSOS	[Symbol]	D-28	INTEGRACION DE MALLA ANTI PALOMAS EN CANTERA EN MAL ESTADO
[Symbol]	B-5	PERDIDA TOTAL DE ESTEREOFORMA DE PIEZA DE CANTERA	[Symbol]	D-3	PERFORACION DE PIEZA DE CANTERA	[Symbol]	D-29	INTEGRACION DE PLAS ANTI PALOMAS EN CANTERA EN MAL ESTADO
[Symbol]	B-6	PERDIDA PARCIAL DE ESTEREOFORMA DE PIEZA DE CANTERA	[Symbol]	D-4	VERDIO ROTO O FALTANTE EN CANCELERA DE PUERTA Y/O VENTANA	[Symbol]	D-30	FALTA DE ENTORTADO EN CORNISAS Y SUPERFICIES PLANAS
[Symbol]	B-7	PIEZA DE CANTERA DESPORTILLADA (EN EL BORDE)	[Symbol]	D-5	INTEGRACION DE TUBERIA Y MALLA DE GALLINERO EN CANCELERA DE VENTANA	[Symbol]	D-31	FALTA DE IMPERMEABILIZANTE SOBRE PECHO DE PALOMA DE BARRIO
[Symbol]	B-8	EXTOLACION Y DESGASTE EN PIEZA DE CANTERA	[Symbol]	D-6	INTEGRACION DE MURETE EN VANO DE VENTANA	[Symbol]	D-32	INTEGRACION DE CABLE DE ACERO, COMO RETENIDA
[Symbol]	B-9	HUMEDAD POR FILTRACION Y ESCURRIMIENTO	[Symbol]	D-6	DESPLAZAMIENTO DE VIBRO EN TEXTURA Y TRANSPARENCIA EN CANCELERA DE PUERTA Y/O VENTANA	[Symbol]	D-33	DESPLAZAMIENTO DE IMPERMEABILIZANTE SOBRE PETATELO
[Symbol]	B-10	HUMEDAD POR CAPILARIDAD	[Symbol]	D-8	INTEGRACION DE TUBERIA ELECTRICA DE 2" DE PVC EN DESUSO	[Symbol]	D-34	PERDIDA DE ESTRUCTURA METALICA EN DREN PERIMETRAL
[Symbol]	B-11	DESPLAZAMIENTO DE PINTURA	[Symbol]	D-9	INTEGRACION DE TUBERIA ELECTRICA DE 1" Y 1/2" ELECTRICA EN USO	[Symbol]	D-35	REGISTROS DE PE PARA RESGUARDAR APARATOS ELECTRICOS, EN DESUSO
[Symbol]	B-12	DESPLAZAMIENTO DE AFLANADO EN MURO (01 CM A 3,18 CM)	[Symbol]	D-10	INTEGRACION DE CAJA DE REGISTRO ELECTRICO CON BOMAS OMS, CON MEDIDOR Y CENTRO DE CARGA	[Symbol]	D-36	PERDIDA DE ESTRUCTURA METALICA EN REGISTROS DE PIE
[Symbol]	B-13	DESPLAZAMIENTO DE AFLANADO EN MURO (1,9 CM A 3,0 CM)+ 4,0 CM	[Symbol]	D-11	INTEGRACION DE CABLE ELECTRICO APARENTE, CON DIFERENTES GROSORES	[Symbol]	D-37	TALA EN CANTERA
[Symbol]	B-14	ABOMBAMIENTO DE AFLANADO	[Symbol]	D-12	INTEGRACION DE TUBERIA DE FUEGO ELECTRICA EN DESUSO			
[Symbol]	B-15	PROTECCION DE HERRERIA ONDADA Y MANCHADA	[Symbol]	D-13	INTEGRACION DE TUBERIA DE FUEGO ELECTRICA EN DESUSO			
[Symbol]	B-16	CANCELERA DE VENTANA EN MAL ESTADO POR INTemperismo (DECOLORACION, PERDIDA DE MASTIQUE, ETC)	[Symbol]	D-14	INTEGRACION DE PINTURA DE ACEITE SOBRE GRAFITO			
[Symbol]	B-17	FUJACION DE MADERA EN PUERTA POR INTemperismo (PC-01 Y PC-02)	[Symbol]	D-15	INTEGRACION DE LÁMINA Y TUBERIA GALVANIZADA EN GARGOLA DE B.A.P.			
			[Symbol]	D-16	GUARDAPOLVO DESMONTADO Y CON OTRO TONDO DE PINTURA			
			[Symbol]	D-17	GRAFITO SOBRE PINTURA			
			[Symbol]	D-18	GRAFITO SOBRE CANTERA			

Imagen 5. Levantamiento de deterioros intrínsecos y extrínsecos del estado actual fachada norte y oeste- Registro de materiales, 2017. Elaborado por: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas y M.R.S. Arq. Ma De La Luz Ávila H/ Image 5. Survey of intrinsic and extrinsic deterioration of the current state of the north and west façade - Materials register, 2017. Prepared by: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas and M.R.S. Arq. Ma De La Luz Ávila H

Fachada norte

En los muros orientados al norte prevalece el deterioro provocado sobre todo por humedad por capilaridad. Dicho agente trae como consecuencia el desprendimiento de aplanados de 1 a 3 cm de espesor y en algunas áreas se puede visualizar el desprendimiento de aplanados entre 3 y 6 cm. A la vez se registra desprendimiento de pintura en muros y presencia de resanes de cemento integrados en una intervención realizada con anterioridad. Se presenta humedad constante sobre los materiales pétreos en cornisa y gárgolas, lo cual se evidencia en manchas y suciedad, a su vez provoca la presencia de microorganismos y que florezcan especies vegetativas que causan deterioro a la estructura y alteración visual. El deterioro por parte del hombre se refleja en la integración de elementos metálicos, ya sean clavos, alcayatas o alambres en los muros del inmueble. Los elementos de herrería presentes en cada vano de la fachada se encuentran en mal estado y con presencia de óxido. La cancelería se encuentra en mal estado debido a su exposición al intemperismo, ya que no existen acciones de mantenimiento adecuadas ni constantes. Se registra desprendimiento de pintura en diversos sectores.

Fachada oeste

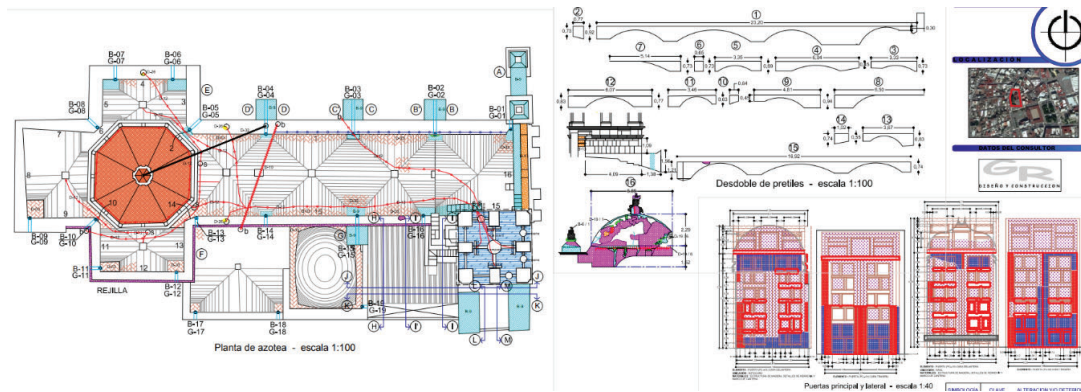
Al igual que en la fachada norte, en los muros orientados al oeste prevalece el deterioro provocado sobre todo por la humedad por capilaridad. Dicho agente trae como consecuencia el desprendimiento de aplanados de 1 a 3 cm de espesor y en algunas áreas se puede visualizar el desprendimiento de aplanados entre 3 y 6 cm. A la vez se registra desprendimiento de pintura en muros y presencia de resanes de cemento integrados en una intervención realizada con anterioridad. Se presenta humedad constante sobre los materiales pétreos en cornisa y gárgolas, lo cual se evidencia en manchas y suciedad, lo que a su vez provoca la presencia de microorganismos y que florezcan especies vegetativas que causan deterioro a la estructura y alteración estética. El deterioro por la desmedida acción humana se refleja en la integración de elementos metálicos, ya sean clavos, alcayatas o alambres en los muros del inmueble y en la pérdida de sección de gárgolas. También se evidencia en la integración de lámina metálica y tubería de PVC en una bajada de agua pluvial. La mayor alteración por acción humana se presenta en la integración de una estructura metálica en áreas del recinto religioso, lo que desemboca en acumulación de escombros, materiales de construcción y diversos enseres a modo de bodega, reiterando que es una alteración en la espacialidad de las áreas originales del inmueble. Los elementos de herrería presentes en cada vano de la fachada se encuentran en mal estado y con presencia de óxido. La cancelería y carpintería se encuentran en mal estado debido a su exposición al intemperismo, ya que no existen acciones de mantenimiento adecuadas ni constantes. Se registra desprendimiento de pintura en diversas áreas de la fachada oeste.

North façade

Deterioration caused mainly by capillary humidity prevails in the north-facing walls. This agent brings as a consequence the detachment of plaster from 1 to 3 cm thick and in some areas, it is possible to visualize the detachment of plaster between 3 and 6 cm. At the same time, there is detachment of paint on the walls and the presence of cement patches integrated into a previous intervention. There is constant humidity on the stone materials on the cornice and gargoyles, which is evidenced by stains and dirt, which in turn causes the presence of microorganisms and the growth of vegetative species that cause deterioration to the structure and visual alteration. The deterioration by man is reflected in the integration of metallic elements, whether nails, pliers, or wires in the walls of the building. The ironwork elements present in each opening of the façade are in poor condition and have rust. The window and door frames are in poor condition due to exposure to weathering, since there are no adequate or constant maintenance actions. Paint has peeled off in several areas.

West façade

As in the north façade, the walls facing west are deteriorated mainly due to rising damp. This agent causes the detachment of plaster from 1 to 3 cm thick and in some areas, it is possible to see the detachment of plaster between 3 and 6 cm. At the same time, there is detachment of paint on the walls and the presence of cement patches integrated into a previous intervention. There is constant humidity on the stone materials on the cornice and gargoyles, which is evidenced by stains and dirt, which in turn causes the presence of microorganisms and the growth of vegetative species that cause deterioration to the structure and aesthetic alteration. The deterioration caused by excessive human action is reflected in the integration of metallic elements, such as nails, nails, or wires in the walls of the building and the loss of the gargoyles' section. It is also evident in the integration of sheet metal and PVC piping in a rainwater drain. The greatest alteration by human action occurs in the integration of a metal structure in areas of the religious precinct, which leads to the accumulation of debris, construction materials, and various belongings as a warehouse, reiterating that it is an alteration in the spatiality of the original areas of the building. The ironwork elements present in each opening of the façade are in poor condition and have rust. The window and door frames and carpentry are in poor condition due to exposure to weathering, since there are no adequate or constant maintenance actions. Paint has peeled off in several areas of the west façade.



SIMBOLOGÍA	CLAVE	ALTERACIÓN Y/O DETERIORO	SIMBOLOGÍA	CLAVE	ALTERACIÓN Y/O DETERIORO	SIMBOLOGÍA	CLAVE	ALTERACIÓN Y/O DETERIORO
A. INTERIORES RELATIVOS A LA ESTRUCTURA			C. EXTERIORES RELATIVOS A MICROORGANISMOS Y ORGANISMOS BIOLÓGICOS			D. EXTERIORES RELATIVOS A LA ACCIÓN HUMANA		
[Symbol]	A-1	FIGURA EN CANTERA	[Symbol]	C-1	MICROORGANISMO (QUEJEN, MUJGO, HONGOS)	[Symbol]	D-19	CLAVOS, ALICATAS, APRAZADERAS, ETC
[Symbol]	A-2	GRIETA EN CANTERA	[Symbol]	C-2	MICROORGANISMO (QUEJEN, MUJGO, HONGOS) EN GARGOLA DE CANTERA	[Symbol]	D-20	INTEGRACIÓN DE ESCOMBROS, MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN, BASURA, ETC
[Symbol]	A-3	DESPLAZO EN CANTERA	[Symbol]	C-3	MANCHA DE GLANDO DE PALOMA	[Symbol]	D-21	INTEGRACIÓN DE ORNAMENTO
[Symbol]	A-4	FIGURA EN MURO	[Symbol]	C-4	TRONCO DE ÁRBOL SECO	[Symbol]	D-22	INTEGRACIÓN DE GOMA DE MASCAR
[Symbol]	A-5	GRIETA EN MURO	[Symbol]	C-5	ESPECIE VEGETAL SUPERIOR (ARBUSTO)	[Symbol]	D-23	INTEGRACIÓN DE TUBERÍA DE COBRE
B. EXTERIORES RELATIVOS A LOS FACTORES FÍSICO - NATURALES			[Symbol]	C-6	ESPECIE VEGETAL INFERIOR (PLANTA)	[Symbol]	D-24	PERDIDA DE SECCIÓN DE GARGOLA DE CANTERA POR ACCIÓN HUMANA
[Symbol]	B-1	MANCHAS NEGRAS DE HUMEDAD EN CANTERA	[Symbol]	C-7	PIRAL DE INSECTO	[Symbol]	D-25	INTEGRACIÓN DE LAMINARIA EN DESUSO, EN TORRE
[Symbol]	B-2	MANCHAS NEGRAS DE HUMEDAD EN GARGOLA DE CANTERA	D. EXTERIORES RELATIVO A LA ACCIÓN HUMANA			[Symbol]	D-26	PIEZA DE CANTERA DAÑADA POR FOLIO DE CUBIERTA
[Symbol]	B-3	MANCHAS NEGRAS DE HUMEDAD EN PECHO DE PALOMA DE BARRIO	[Symbol]	D-1	INTEGRACIÓN DE AFLANADOS CON DIFERENTE TEXTURA Y GROSOR EN MURO	[Symbol]	D-27	INTEGRACIÓN DE MALLA ANTI PALOMAS EN CANTERA EN MAL ESTADO
[Symbol]	B-4	PERDIDA O DISORGANIZACIÓN DE JUNTAS ENTRE PIEZAS DE CANTERA	[Symbol]	D-2	INTEGRACIÓN DE AJUSTES AJENOS A ORIGINALES CON MATERIALES DIVERSOS	[Symbol]	D-28	INTEGRACIÓN DE MALLA ANTI PALOMAS EN CANTERA EN MAL ESTADO
[Symbol]	B-5	PERDIDA TOTAL DE ESTEREOISOMIA DE PIEZA DE CANTERA	[Symbol]	D-3	INTEGRACIÓN DE RESANOS AJENOS A ORIGINALES CON MATERIALES DIVERSOS	[Symbol]	D-29	FALTA DE ENCOFRADO EN CORNISAS Y SUPERFICIES PLANAS
[Symbol]	B-6	PERDIDA PARCIAL DE ESTEREOISOMIA DE PIEZA DE CANTERA	[Symbol]	D-4	PERFORACIÓN DE PIEZA DE CANTERA	[Symbol]	D-30	FALTA DE IMPERMEABILIZANTE SOBRE PECHO DE PALOMA DE BARRIO
[Symbol]	B-7	PIEZA DE CANTERA DESPORTELLADA (EN EL BORDE)	[Symbol]	D-5	VIDRIO ROTO O FALTANTE EN CANCELERA DE PUERTA Y/O VENTANA	[Symbol]	D-31	DESPRENDIMIENTO DE CABLE DE ACERO, COMO RETENIDA
[Symbol]	B-8	EXFOLIACIÓN Y DESGASTE EN PIEZA DE CANTERA	[Symbol]	D-6	INTEGRACIÓN DE VENTILA Y MALLA DE GALLINERO EN CANCELERA DE VENTANA	[Symbol]	D-32	DESPRENDIMIENTO DE IMPERMEABILIZANTE SOBRE PRETALLO
[Symbol]	B-9	HUMEDAD POR FILTRACIÓN Y ESCURRIMIENTO	[Symbol]	D-7	INTEGRACIÓN DE MURETE EN VANO DE VENTANA	[Symbol]	D-33	PERDIDA DE ESTRUCTURA METÁLICA EN DREN PERIMETRAL
[Symbol]	B-10	HUMEDAD POR CAPILARIDAD	[Symbol]	D-8	DESPLAZO DE VIDRIO EN TEXTURA Y TRANSPARENCIA EN CANCELERA DE PUERTA Y/O VENTANA	[Symbol]	D-34	REGISTROS DE PIE PARA RESGUARDO APARATOS ELECTRICOS, EN DESUSO
[Symbol]	B-11	DESPRENDIMIENTO DE PINTURA	[Symbol]	D-9	INTEGRACIÓN DE TUBERÍA ELÉCTRICA DE 2" DE PVC EN DESUSO	[Symbol]	D-35	PERDIDA DE ESTRUCTURA METÁLICA EN REGISTROS DE PIE
[Symbol]	B-12	DESPRENDIMIENTO DE AFLANADO EN MURO (1 CM A 6 CM)	[Symbol]	D-10	INTEGRACIÓN DE TUBERÍA DE FOGO DE 1" Ø ELÉCTRICA EN USO	[Symbol]	D-36	TALLA EN CANTERA
[Symbol]	B-13	DESPRENDIMIENTO DE AFLANADO EN MURO (13 CM A 33 CM) Y 4 CM	[Symbol]	D-11	INTEGRACIÓN DE CAJA DE RESISTO ELÉCTRICO DE BOND GAB CON MEDIDOR Y CENTRO DE CARGA			
[Symbol]	B-14	ACERAMIENTO DE AFLANADO	[Symbol]	D-12	INTEGRACIÓN DE CABLE ELÉCTRICO APARENTE, CON DIFERENTES GROSORES			
[Symbol]	B-15	PROTECCIÓN DE HERRERIA OXIDADA Y MANDADA	[Symbol]	D-13	INTEGRACIÓN DE TUBERÍA DE FOGO ELÉCTRICA EN DESUSO			
[Symbol]	B-16	CANCELERA DE VENTANA EN MAL ESTADO POR INTERPERISMO (DECOLORACIÓN, PERDIDA DE MASTIQUE, ETC)	[Symbol]	D-14	INTEGRACIÓN DE PINTURA DE ACEITE SOBRE GRAFITO			
[Symbol]	B-17	FUGACIÓN DE MADERA EN PUERTA POR INTERPERISMO (PC-01 Y PC-02)	[Symbol]	D-15	INTEGRACIÓN DE PINTURA DE LÁMINA Y TUBERÍA GALVANIZADA EN GARGOLA DE B.A.P.			
			[Symbol]	D-16	GUARDAPOLVO DESMONTADO Y CON OTRO TONO DE PINTURA			
			[Symbol]	D-17	GRAFITO SOBRE PINTURA			
			[Symbol]	D-18	GRAFITO SOBRE CANTERA			

Imagen 6. Levantamiento de deterioros. Planta de azotea, puerta lateral y principal - Registro de materiales, 2017. Elaborado por: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas y M.R.S. Arq. Ma De La Luz Ávila H/ Image 6. Deterioration survey. Roof plan, side and main door - Material register, 2017. Prepared by: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas and M.R.S. Arq. Ma De La Luz Ávila H

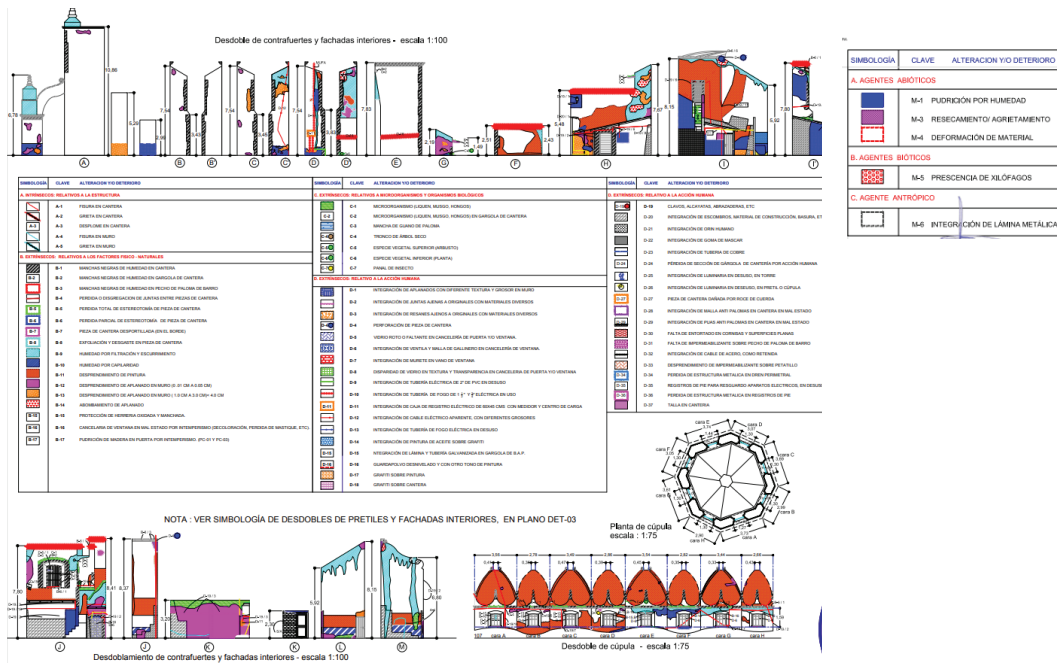


Imagen 7. Levantamiento de deterioros. Contrafuertes, fachadas interiores y cupulas- Registro de materiales, 2017. Elaborado por: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas y M.R.S. Arq. Ma De La Luz Ávila H./ Image 7. Survey of deterioration. Buttresses, interior facades and cupolas- Material register, 2017. Prepared by: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas and M.R.S. Arq. Ma De La Luz Avila H.

Referencias bibliográficas

Chanfón, Olmos C. (1996). Fundamentos teóricos de la restauración. México, Colección Arquitectura No. 10, Fac. de Arquitectura, UNAM, p. 139, 289, 290

Colmenero, F. Ávila, Ma. de L. Preciado, A. 2022. Manifestations of cultural and religious heritages. "The Hospitalito in Irapuato, Gto." Esempli Di Architettura, 2022, VOL.9, N.2. 85-95 pp. DOI: 10.53136/97912599480908 fecha de acceso:09/02/22. Disponible en: @racne – Esempli di Architettura – Revista Internacional de Arquitectura e Ingeniería (aracneeditrice.eu)

García, María, et al. (2009) Templo El Hospitalito. Casa de la Cultura. Esc. De Filosofía, Letras e Historia. Irapuato, México. P.1

ICOMOS (1994) Documento de Nara sobre autenticidad. Traducción de Valerie Magar, Magdalena Rojas Vences y Gabriela Peñuelas Guerrero. Disponible en: [convern8_06_docudenara_esp.pdf \(iccrom.org\)](#) Microsoft Word - GA16 Charter Interpretation 20081004 ES.doc (icomos.org) Fecha de acceso: 10/01/22

ICCROM Forum on conservation science ICCROM (The International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property) *Studies in Conservation Supplement (vol. 2 2015)*. Diponible en: [YSIC_I_60_S2_combined.pdf \(iccrom.org\)](#) Fecha de acceso: 19/12/2021

Sánchez Martínez, Álvarez Gasca, M Dolores Elena (2011). El papel de la Química en la restauración de monumentos. Universidad de Guanajuato. Acta Universitaria. Vol. 21 Número especial 4, Septiembre 2011

UNESCO (2007) Carta ICOMOS para Interpretación y Presentación de Sitios de Patrimonio Cultural recuperado de: [Microsoft Word - GA16 Charter Interpretation 20081004 ES.doc \(icomos.org\)](#) Fecha de acceso: 10/01/22

Terán Bonilla, J. A, (2004) Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la restauración arquitectónica. Revista Conserva No. 8, 2004. Chile.

**EL RETABLO DE ALABASTRO DEL SANTO CÁLIZ DE LA CATEDRAL DE
VALENCIA. CONSIDERACIONES Y ESTRATEGIA DE LIMPIEZA**

**THE ALABASTER ALTARPIECE OF THE HOLY CHALICE OF VALENCIA
CATHEDRAL. CONSIDERATIONS AND CLEANING STRATEGY**

S. Martínez-Hurtado

Fundadora y Responsable de Noema Restauradores, SL. Licenciada en Historia del Arte por la Universitat de València y Licenciada en Bellas Artes por la Universitat Politècnica de València. Foundress and CEO Noema Restauradores, s.l. E-mail: sofiamh.noema@gmail.com

S. Kröner

Doctor en Geología, especializado en Conservación y restauración del Patrimonio Cultural. PhD in Geology specialised in Conservation and restoration of Cultural Heritage. E-mail: stephan.kroner2013@gmail.com

X. Mas-Barberà

Investigador en el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio. Universitat Politècnica de València (UPV). Profesor Catedrático de Universidad, Conservador y restaurador de escultura y ornamentos. Doctor en Bellas Artes por la UPV. Researcher in the Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio. Senior Professor at the UPV, Conservator and restorer of sculpture and ornaments. PhD in Fine Arts. E-mail: jamasbar@upvnet.upv.es

Abstract

The following work presents the intervention process that was carried out on the alabaster altarpiece located in the Chapter House of the Metropolitan Cathedral–Basilica of the Assumption of Our Lady of Valencia. The work of the artists Antoni Dalmau and Julià lo Florentí, it is the old Gothic façade of the choir loft (1441-1446) which was moved to the Chapter House in 1777. The altarpiece as a whole measures approximately 6.80 m in height, 11.40 m in width and 0.60 m in depth. The aim of the intervention focused on the removal of dust and dirt accumulated on the surface of the stone, which, together with the installation of a new LED lighting system, completed the improvement project backed by the Iberdrola España Foundation. The treatment of the altarpiece was approached from the criterion of minimal intervention, recovering the material quality of the stone ensemble and maintaining the signs of the passage of time in accordance with its state of conservation.

Keywords

Sculptor Julià lo Florentí, Chapter House of the Metropolitan Cathedral of Valencia, architect Antoni Dalmau, alabaster altarpiece of the Holy Chalice

Introducción

Durante los meses de noviembre y diciembre de 2016 se llevó a cabo la intervención sobre el retablo de alabastro ubicado en la Sala Capitular de la Catedral de Valencia (Figura 1), conocido comúnmente como el Retablo del Santo Cáliz. Se trata del retablo procedente de la antigua fachada gótica del trascoro (1441-1446) de la catedral que fue colocado en la Sala Capitular en año 1777 al ser sustituido por otro neoclásico, hoy desaparecido. Es obra de los arquitectos Antoni Dalmau y Julià lo Florentí, y además intervinieron los escultores Joan de Sagrera, Joan de Sogorb y Arnau de Bruselas. En la parte del retablo destacan los doce relieves de Julià lo Florentí, consideradas las primeras obras del Renacimiento en España. Las escenas inferiores corresponden al Antiguo Testamento, mientras que las superiores corresponden al Nuevo (Carmola Muela, 2003; VVAA, 1991; De Louis, 1997 a y b; Garín Ortiz de Toranzo, 1959; Sanchis Sivera, 1909; Sánchez Navarrete, 1980). Se trata de una obra protegida, según Patrimonio Histórico clasificada como Bien de Interés Cultural con identificador RI-51-0000967.

El retablo de alabastro, objeto de intervención, tiene unas dimensiones aproximadas de 6,80 m de altura, por 11,40 m de anchura (-dividida en tres cuerpos de 3,80 m cada uno) y, una profundidad de 0,60 m. Asimismo, todo el conjunto descansa sobre un zócalo de granito que funciona a modo de asiento. El primer nivel, con escalonamiento, está decorado con pequeñas arquerías entrecruzadas, tres superpuestas sobre cuatro en cada vano; entre las dos filas de relieves y sobre la superior corre una cenefa con rosetas, cardinas y adornos vegetales finamente labrados. Sobre los doseles que coronan cada pareja de escenas se alza una crestería gótica, calada a modo de gabletes y crochets. También sobre cada uno de los doseles que coronan los intermedios de las escenas se alza un pináculo gótico. Los doce relieves de alabastro son paneles que poseen unas dimensiones de 1,05 m de alto por 0,75 m de ancho por 0,23 m de grosor aproximadamente. De igual modo, un total de ocho pilares separan las calles y, a varios niveles sobre ménsulas adornadas con cabezas de querubines alados, se alojan estatuas de los doce Apóstoles y cuatro Santos de devoción popular valenciana. Estas esculturas están realizadas en piedra artificial y son de factura reciente obra del escultor valenciano Esteve Edo.

Para este trabajo de restauración se tomaron en consideración los estudios previos desarrollados por Perales-Azorín (2011), González-Ridruejo (2009) y González de Langarica Ruiz de Gauna (2007).

Finalmente, el objetivo prioritario del tratamiento se centró en la retirada del polvo y suciedad diversa acumulada en la superficie del pétreo desde el año 1978, fecha en que se tiene constancia de la última intervención realizada sobre el retablo. Esta intervención sobre el conjunto escultórico-arquitectónico complementa el proyecto de renovación del nuevo sistema de iluminación financiado por la Fundación Iberdrola España.



Figura 1. Retablo de alabastro procedente de la antigua fachada gótica del trascoro de la Catedral de Valencia, actual Sala Capitular. Esta extraordinaria obra alberga la reliquia del Santo Cáliz.

Figure 1. Alabaster altarpiece from the old Gothic façade of the choir loft of Valencia Cathedral, now the Chapter House. This extraordinary work hosts the relic of the Holy Chalice.

Introduction

During the months of November and December 2016, an intervention was carried out on the alabaster altarpiece located in the Chapter House of Valencia Cathedral (Figure 1), commonly known as the Holy Chalice Altarpiece. The altarpiece originated from the old Gothic façade of the choir loft (1441-1446) of the cathedral and was placed in the Chapter House in 1777 when it was replaced by another neoclassical altarpiece, which has disappeared since then. It is the work of the architects Antoni Dalmau and Julià lo Florentí, and the sculptors Joan de Sagrera, Joan de Sogorb and Arnau de Bruselas were also involved. The altarpiece features twelve reliefs by Julià lo Florentí, considered the first Renaissance works in Spain. The lower scenes correspond to the Old Testament, while the upper ones correspond to the New Testament (Carmola Muela, 2003; VVAA, 1991; De Louis, 1997 a and b; Garín Ortiz de Toranzo, 1959; Sanchis Sivera, 1909; Sánchez Navarrete, 1980). According to Patrimonio Histórico, it is a protected work, classified as an Asset of Cultural Interest with identifier RI-51-0000967.

The alabaster altarpiece is approximately 6.80 m high and 11.40 m wide (divided into three sections of 3.80 m each), with a depth of 0.60 m. The whole ensemble rests on a granite plinth that acts as a seat. The entire structure rests on a granite plinth that acts as a seat. The first level, which is stepped, is decorated with small criss-crossed arcatures, three superimposed on four in each bay; between the two rows of reliefs and above the top row is a border with rosettes, thistles and finely carved vegetal ornamentation. Above the dossals that crown each pair of scenes is a Gothic cresting, openwork in the form of gables and crochets. A Gothic pinnacle also rises above each of the dossals that crown the intermediate scenes. The twelve alabaster reliefs are panels measuring approximately 1.05 m high by 0.75 m wide by 0.23 m thick. Similarly, a total of eight pillars separates the streets and, at various levels on corbels adorned with winged cherub heads, statues of the twelve Apostles and four Saints of popular Valencian devotion are housed. These sculptures are made of artificial stone and are the recent work of the Valencian sculptor Esteve Edo.

For this restoration work, the previous studies carried out by Perales-Azorín (2011), González-Ridruejo (2009) and González de Langarica Ruiz de Gauna (2007) were taken into consideration.

Finally, the main objective of the treatment focused on removing the dust and dirt that had accumulated on the surface of the stone since 1978, when the last intervention on the altarpiece is known to have been carried out. This intervention on the sculptural-architectural ensemble complements the renovation project of the new lighting system financed by the Iberdrola Spain Foundation.

Methodology

The way of proceeding with this type of heritage work is determined by its singularity, exceptionality and the precision of the treatments. In this sense, three phases were carried out to undertake the restoration treatment: (i) visual examination, (ii) analysis and tests in situ, and (iii) intervention strategies.

A first phase observation via the senses was carried out in order to obtain relevant information about the material, technique and state of deterioration of the work. Samples were also taken in accordance with UNE-EN 16085/2014. Secondly, specific physicochemical analyses were carried out on the stone and pH control tests (UNE-EN 1262:2004) and conductivity. Finally, the third phase addressed the intervention in accordance with the guidelines UNE 41806-1 (2009), UNE 41806-3 (2009), UNE 41806-5-1 (2009), UNE 41806-5-2 (2009) and UNE-EN 16581 (2016). In this phase, the main objective was to eliminate deposits of surface dirt and wax from candle smoke and environmental pollution caused by the continuous traffic of visitors and tourists in the Chapter House itself.

Metodología procedimental

El modo de proceder en este tipos de obras patrimoniales viene determinado por su singularidad, excepcionalidad y precisión de los tratamientos. En este sentido, tres fueron las fases llevadas a cabo para acometer el tratamiento de restauración, (i) examen de visu, (ii) análisis y pruebas in situ y, (iii) estrategias de intervención.

Una primera fase de observación organoléptica con el fin de obtener información relevante de la obra en cuanto al material, la técnica y el estado de deterioro. Asimismo, se tomaron muestras conforme a UNE-EN 16085/2014. En segundo lugar, se realizaron análisis fisicoquímicos puntuales sobre el pétreo y pruebas de control de pH (UNE-EN 1262:2004) y conductividad. Finalmente, la tercera fase abordó la intervención conforme a las directrices UNE 41806-1 (2009), UNE 41806-3 (2009), UNE 41806-5-1 (2009), UNE 41806-5-2 (2009) y UNE-EN 16581 (2016). En esta fase, el principal objetivo fue eliminar los depósitos de suciedad superficial y cera procedente del humo de las velas y de la contaminación ambiental originada por el tránsito continuado de visitantes y turistas en la propia Sala Capitular.

Estado de conservación. Diagnóstico

Para la enumeración de los daños que presentaba el retablo se utilizaron las clasificaciones y definiciones del Glosario ICOMOS (2011). La obra exhibía un estado de conservación bueno, sin embargo, mostraba una importante acumulación de suciedad generalizada (manchas, polvo diverso y humo de velas), producida por causas físicas, químicas y antrópicas (Figura 2-3). Los principales daños que afectaban al conjunto del retablo eran varios:

a) Grietas y deformaciones.

-Fractura, grietas y fisuras claramente visibles en superficie que suponen separación entre dos partes, a diferentes niveles. Son de origen desconocido, posiblemente originadas por el traslado y se localizan concretamente en los gabletes, pináculos y doseles.

b) Rasgos inducidos por pérdida de material.

-Faltante: Espacio vacío donde antes existía piedra de alabastro. Son de tipología diversa. Se aprecian faltantes en la configuración volumétrica de los elementos ornamentales que afectan a fragmentos vegetales, pináculos, pilastras y molduras. Los relieves también presentan pérdidas de volumen de mayor o menor consideración.

-Abrasión (daño de origen mecánico): Erosión debida al rozamiento, frotamiento o impacto. En zonas inferiores y puntuales del retablo se aprecia este tipo de deterioro.

c) Alteración cromática y depósitos.

-Alteración cromática: Modificación del color de la piedra: tono, luminosidad y saturación. Afecta tanto a elementos de la zona inferior como superior del retablo.

-Incrustación: Capa y concreciones de mortero compacto y firmemente adherido al sustrato. Asimismo, se aprecian restos de gotas de cera en diversas áreas del retablo.

-Enmugrecimiento: Depósito de una fina capa de partículas exógenas (polvo en suspensión y humo por combustión de velas) dando lugar a una apariencia de suciedad sobre la superficie de la piedra.

-Protección. Aplicación de una sustancia de protección (cera y derivados) de grosor variables en la superficie del objeto con el fin de recuperar o refrescar la superficie. Se aprecia una tonalidad y brillo diferente en los paneles, distinguiéndose paneles más oscuros de los paneles de tono medio y, de tono más claro.

-Depósito. Acumulación de una espesa capa de suciedad diversa (partículas de polvo) a modo de manto o estrato de grosor variable.

State of conservation. Diagnosis

The classifications and definitions of the ICOMOS Glossary (2011) were used to list the damage to the altarpiece. The work exhibited a good state of conservation. However, it showed a significant accumulation of generalised dirt (stains, various types of dust and candle smoke), produced by physical, chemical and anthropic causes (Figure 2-3). The main damages affecting the altarpiece as a whole were several:

(a) Cracks and deformations.

-Cracks, cracks and fissures clearly visible on the surface that represent a separation between two parts, at different levels. They are of unknown origin, possibly caused by removal and are located specifically in the gables, pinnacles and dossels.

b) Features induced by loss of material.

-Missing: Empty space where alabaster stone once existed. They are of different types. The volumetric configuration of the ornamental elements is missing, affecting plant fragments, pinnacles, pilasters and mouldings. The reliefs also show losses of volume of varying degrees of importance.

-Abrasion (damage of mechanical origin): Erosion due to friction, rubbing or impact. This type of deterioration can be seen in lower and specific areas of the altarpiece.

c) Chromatic alteration and deposits.

-Chromatic alteration: Modification of the colour of the stone: tone, luminosity and saturation. It affects both the lower and upper parts of the altarpiece.

-Incrustation: Layer and concretions of compact mortar firmly adhering to the substrate. There are also traces of wax drops in various areas of the altarpiece.

-Smudging: Deposit of a fine layer of exogenous particles (dust in suspension and smoke from burning candles) giving the appearance of dirt on the surface of the stone.

-Protection. Application of a protective substance (wax and derivatives) of varying thickness on the surface of the object in order to restore or refresh the surface. A different tonality and gloss can be seen in the panels, distinguishing darker panels from medium-toned panels and lighter toned panels.

-Deposit. Accumulation of a thick layer of various dirt (dust particles) in the form of a layer of varying thickness.

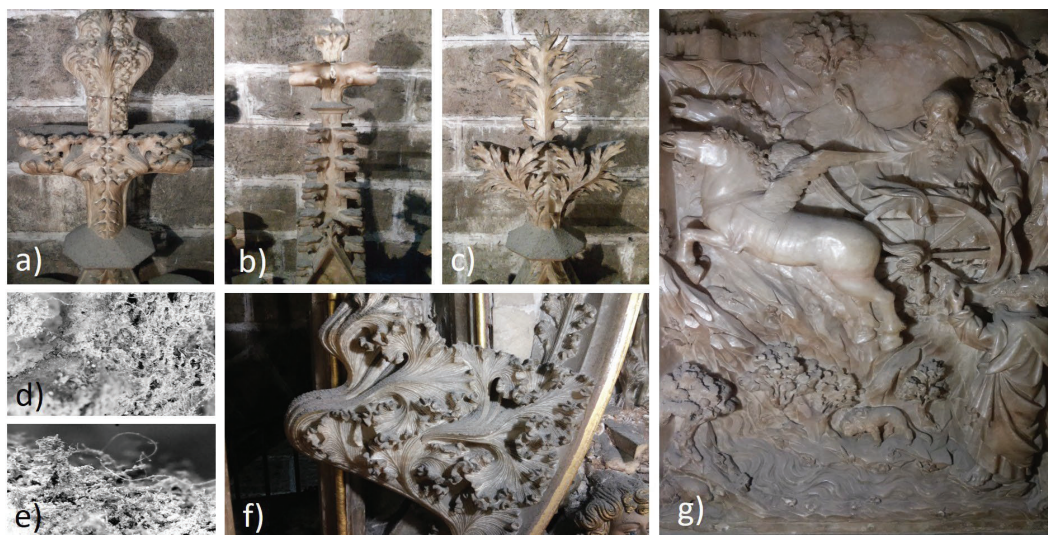


Figura 2 (a-g). Detalles del estado de conservación de zonas del retablo de alabastro antes de su intervención. a-c) Vista general de los pináculos de la crestería gótica. d-e) Macrofotografías con microscopio USB Dinolite de partículas de polvo presente en la superficie del pétreo. f) Detalle de la ornamentación vegetal cubierta de una espesa capa de polvo y suciedad superficial. g) Detalle del panel Salomón en el trono con su padre Betsabé.

Figure 2 (a-g). Details of the state of conservation of areas of the alabaster altarpiece before intervention. a-c) General view of the pinnacles of the Gothic cresting. d-e) Macro-photographs with USB Dinolite microscope of dust particles present on the surface of the stone. f) Detail of the vegetational ornamentation covered with a thick layer of dust and surface dirt. g) Detail of the panel Solomon on the throne with his father Bathsheba.

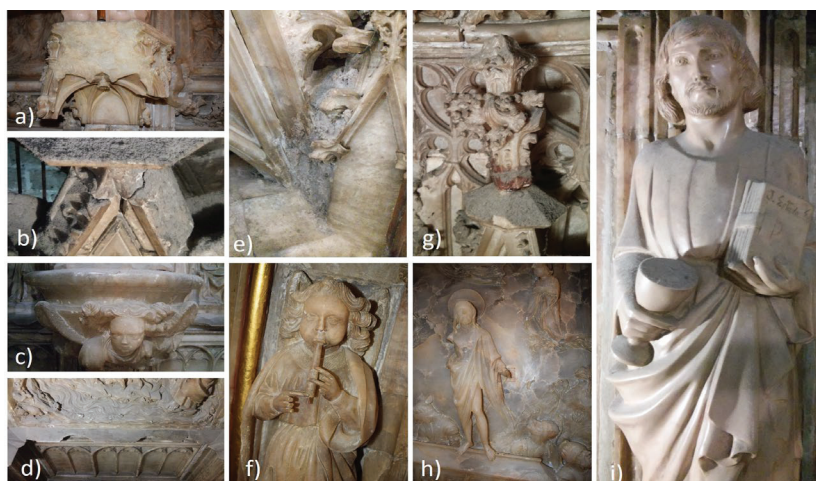


Figura 3 (a-i). Detalles del estado de conservación de zonas del retablo de alabastro antes de su intervención. a,d,f,h) Faltantes de volumen de diversa consideración. b) Fisuras y grietas. c) abrasión superficial. e) presencia de morteros en uniones y en superficie del pétreo. g) manchas de resina natural empleada en uniones de fragmentos. i) polvo depositado en superficie.

Figure 3 (a-i). Details of the state of conservation of areas of the alabaster altarpiece before its intervention. a, d, f, h) Volume deficits of varying degrees. b) Cracks and fissures. c) Surface abrasion. e) Presence of mortar in joints and on the surface of the stone. g) Stains of natural resin used in joints of fragments. i) Dust deposited on the surface.

Proceso de intervención. Materiales y métodos

Este tipo de elementos escultórico-arquitectónicos requieren de una necesaria programación, análisis y toma de acciones eficientes sobre las que se asiente la intervención. En este sentido, los criterios se ajustaron a los establecidos en el Proyecto COREMANS (2013) editados por la Secretaría General Técnica del Ministerio de Educación Cultura y Deporte, así como, a las normas UNE y UNE-EN incluidas en ámbito del Patrimonio Cultural. El proceso de intervención, en base al diagnóstico de patologías, supuso una actuación restaurativa centrada en dos fases, a) limpieza mecánica para eliminar el grueso manto de polvo acumulado y, b) limpieza química basada en la retirada a la capa de suciedad superficial -estratos de cera y barnices. De igual modo, y en menor medida, se llevó a cabo la adhesión de pequeños fragmentos y piezas susceptibles de pérdida o caída.

En un primer momento, se llevó a cabo un estudio preliminar y pormenorizado de la totalidad de la obra. Para ello se realizaron diversas pruebas para valorar el nivel de limpieza y, también, se estudiaron los distintos elementos por separado (esculturas, ornamentos y estructura arquitectónica del retablo). Estas actuaciones fueron recogidas mediante un completo barrido fotográfico, tanto general como de detalle y, con diferentes fuentes de iluminación.

Los distintos procesos del tratamiento se iniciaron con la limpieza manual (Figuras 4). Se eliminaron las partículas de polvo de toda la superficie de la obra por medio de brochas de cerdas suaves y aspirador industrial para, todo seguido, acometer la limpieza de manera más exhaustiva de toda la superficie escultórico-arquitectónica. La fase más destacada de toda la intervención fue la limpieza química. Para ello, y tomando como referencia los estudios previos (Muñoz, 2016; Perales-Azorín, 2011; González-Ridruejo, 2009), se realizaron pruebas de limpieza en zonas concretas del retablo y en los diversos elementos escultóricos, ornamentales como en la estructura arquitectónica de sostén (Figura 5). En general, se planteó una intervención mínima, más conservadora (y/o de mantenimiento) que plenamente restauradora, orientada a retirar la suciedad superficial de deterioro y lograr la unidad estética del retablo. Los materiales de limpieza seleccionados fueron compatibles química y físicamente con el soporte, y estables frente al paso del tiempo. En este sentido, no se aplicaron sustancias acuosas por la incompatibilidad química con el material pétreo. Asimismo, la elección de los disolventes se realizó conforme a la casuística de los residuos presentes en la obra y mediante pruebas de solubilidad a partir del test de limpieza y estudios sobre geles tomados de Richard Wolbers (Stulik, et al, 2004; Byrne, 1991).

Intervention process. Materials and methods

This type of sculptural-architectural elements requires programming, analysis and efficient actions on which to base the intervention. In this sense, the criteria were adjusted to those established in the COREMANS Project (2013) published by the General Technical Secretariat of the Ministry of Education, Culture and Sport, as well as to the UNE and UNE-EN standards included in the field of Cultural Heritage. The intervention process, based on the diagnosis of pathologies, involved restorative action centred on two phases: a) mechanical cleaning to remove the thick layer of accumulated dust and, b) chemical cleaning based on the removal of the layer of surface dirt - layers of wax and varnish. Similarly, and to a lesser extent, the adhesion of small fragments and pieces susceptible to loss or falling off was also carried out.

Initially, a preliminary and detailed study of the entire work was carried out. To this end, various tests were carried out to assess the level of cleanliness and the different elements were also studied separately (sculptures, ornaments and the architectural structure of the altarpiece). These actions were recorded by means of a complete photographic scan, both general and detailed, and with different sources of illumination.

The various treatment processes began with manual cleaning. Dust particles were removed from the entire surface of the work using soft bristle brushes and an industrial Hoover, followed by a more exhaustive cleaning of the entire sculptural-architectural surface (Figure 4). The most important phase of the whole intervention was the chemical cleaning. For this purpose, and taking previous studies as a reference (Muñoz, 2016; Perales-Azorín, 2011; González-Ridruejo, 2009), cleaning tests were carried out in specific areas of the altarpiece and on the various sculptural and ornamental elements, as well as on the supporting architectural structure (Figure 5). In general, a minimal intervention was proposed, more conservative (and/or maintenance) than fully restorative, aimed at removing the superficial dirt of deterioration and achieving the aesthetic unity of the altarpiece. The cleaning materials selected were chemically and physically compatible with the support and stable over time. In this sense, aqueous substances were not applied due to their chemical incompatibility with the stone material. The choice of solvents was also made according to the casuistry of the residues present in the work and by means of solubility tests based on the cleaning test and studies on gels taken from Richard Wolbers (Stulik, et al, 2004; Byrne, 1991).

For the intervention on the alabaster altarpiece, the most effective and innocuous cleaning system was solvent mixtures applied with swabs and in gel form. The advantage of applying gelled mixtures, occasionally in areas with stubborn stains, is that they soften the dirt, reduce the penetration of the solvent and, consequently, minimise the wetting of the support, while at the same time controlling the level of dissolution more effectively. The mixtures that gave the best results in removing the layers of dirt and grime were the isopropyl alcohol and *White Spirit* (1:1) solution and gel formulations; these are solvent mixtures that favour the solvent action on the residue and slow down the exposure times, given the satisfactory results obtained in the solubility tests (Figures 6a-c and Figure 7). Throughout the cleaning process, we noted and recorded (i) the different lack of volume (ornamental, sculptural and architectural support), as well as (ii) the cracks and joints made with wires and wooden pieces from previous undocumented interventions, (iii) adhesions of fragments with natural resins from previous interventions that were in good condition, as well as (iv) alabaster stone grafts and mortars applied in previous treatments, all of which were recorded by means of drawings and cartographies in case they were required in subsequent treatment proposals and as documentary evidence of the work (Figure 6d-e).

On the other hand, and in a very specific manner, the adhesion of small, detached fragments was carried out using *CTS EPO 121* thixotropic bicomponent thermosetting thixotropic hot-melt adhesive. At the same time, the presence of small iron elements was passivated with *tannic acid* with 5% (w/v) ethyl alcohol and subsequently protected with a double application consisting, on the one hand, of a solution of *Paraloid B44* acrylic resin and 10% (w/v) *acetone* and, on the other hand, a final application *Reswax WH* metal wax of CTS, dissolved with 10% (w/v) *ligroin*.

Para la intervención en el retablo de alabastro, el sistema de limpieza más eficaz e inocuo fueron las mezclas de disolventes aplicados con hisopos y, en forma de gel. La ventaja de aplicar mezclas gelificadas, puntualmente en áreas con manchas resistentes, es que permite reblandecer la suciedad, reducir la penetración del disolvente y, en consecuencia, minimizar la humectación del soporte, a la vez que se controla con mayor eficacia el nivel de disolución. Las mezclas que mejores resultados ofrecieron para eliminar las capas de suciedad y enmugrecimiento fueron las formulaciones en disolución y gel de *alcohol isopropílico* y *White Spirit* (1:1); son mezclas de disolventes que favorecen la acción solvente sobre el residuo y ralentizan los tiempos de exposición, dados los resultados satisfactorios obtenidos en las pruebas de solubilidad (Figuras 6a-c y Figura 7). Durante todo el proceso de limpieza, se fueron anotando y referenciando (i) las diferentes faltas de volumen (ornamentales, escultóricos y del soporte arquitectónico), también se señalaron (ii) las grietas y uniones realizadas con alambres y burlones de madera de actuaciones previas no documentadas, (iii) adhesiones de fragmentos con resinas naturales procedentes de intervenciones anteriores y que se encontraban en buen estado, así como (iv) injertos con piedra de alabastro y morteros aplicados en tratamientos previos, todo fue registrado mediante dibujos y cartografías en caso de requerirse en posteriores propuestas de tratamientos y como testimonio documental de la obra (Figura 6d-e).

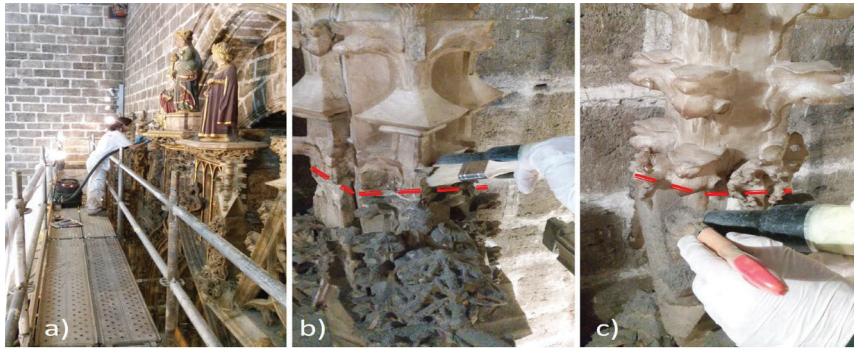


Figura 4 (a-c). Fase de limpieza manual mediante la aspiración de polvo y suciedad diversa de la superficie del pétreo. b-c) Detalle del proceso de retirada de los depósitos.

Figure 4 (a-c). Manual cleaning phase by suction of dust and various types of dirt from the surface of the stone. b-c) Detail of the process of removing the deposits.



Figura 5 (a-e). Detalle de las pruebas de limpieza realizadas con el fin de valorar y decidir la metodología de trabajo más eficaz y óptima para el tratamiento de la obra (principio de seguridad e inocuidad).

Figure 5 (a-e). Detail of the cleaning tests carried out in order to assess and decide on the most efficient and optimal work methodology for the treatment of the work (principle of safety and harmlessness).

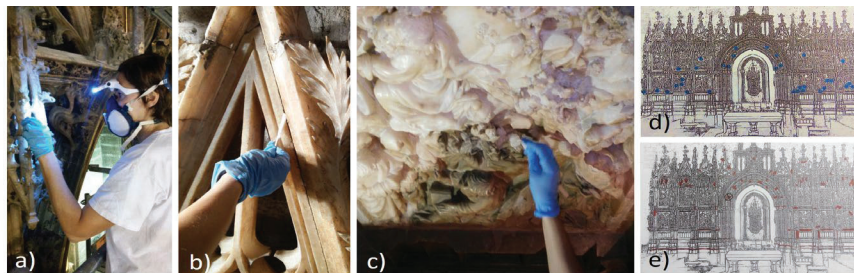


Figura 6 (a-e). Fase de limpieza química y toma de datos. a-c) Detalles del proceso de retirada de estratos de enmugrecimiento y cera. d-e) Dibujos y croquis a modo de testimonio documental con fines para tratamientos futuros.

Figure 6 (a-e). Chemical cleaning phase and data collection. a-c) Details of the process of removing the layers of dirt and wax. d-e) Drawings and sketches as documentary evidence for future treatments.

Also, in order to minimise the penetration and deposition of environmental dust on the altarpiece substrate, the protection of the stone assembly was carried out by applying a solution of *Regalrez 1126* with *ligroin 100-140* ml at 1% (w/v) and the addition of *Tinuvin 292* additive at 1% (with respect to the *Regalrez 1126* resin, w/v). It was applied by brush in a single coat, maintaining the transpirability of the stone. After the intervention, a new lighting system was installed in the Chapter House using LED technology projectors and strips that have substantially improved the detailed observation of the altarpiece, while at the same time being more efficient and sustainable, reducing the CO₂ footprint (Fundación Iberdrola España, 2017). Figure 8 shows the work once the intervention has been completed.

Finally, a regular cycle of maintenance and control of the state of conservation was recommended, consisting of surface cleaning of the stone support (dust and various deposits) by means of controlled vacuuming once every two years, and that the process be carried out by personnel qualified in conservation tasks and the restoration of stone materials. Likewise, the control of environmental conditions (temperature and RH) is fundamental, although they are difficult to control due to the nature of the space itself, designed for liturgy; however, given the influx of visitors, it was advisable to keep the room well ventilated and the possibility of installing a thermohygrometer to control the levels so that they could be maintained at around 55 ± 5 RH, and $18 \pm 2^\circ\text{C}$ temperature.

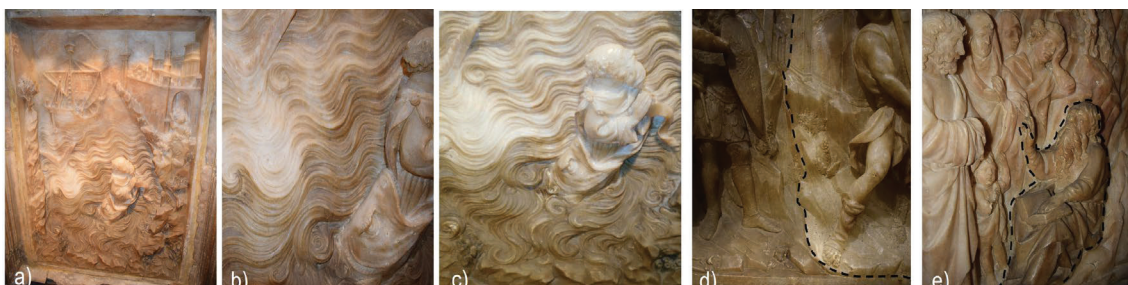


Figura 7 (a-e). Secuencia detallada del proceso de limpieza química realizada por volúmenes. a-c) Panel Jonás arrojado por la ballena. d) Panel Sansón destruyendo las puertas de Gaza y, e) Panel Moisés recibiendo la ley del Sinaí.
Figure 7 (a-e). Detailed sequence of the chemical cleaning process carried out by volumes. a-c) Panel Jonah thrown by the whale. d) Panel Samson destroying the gates of Gaza and, e) Panel Moses receiving the Sinai law.

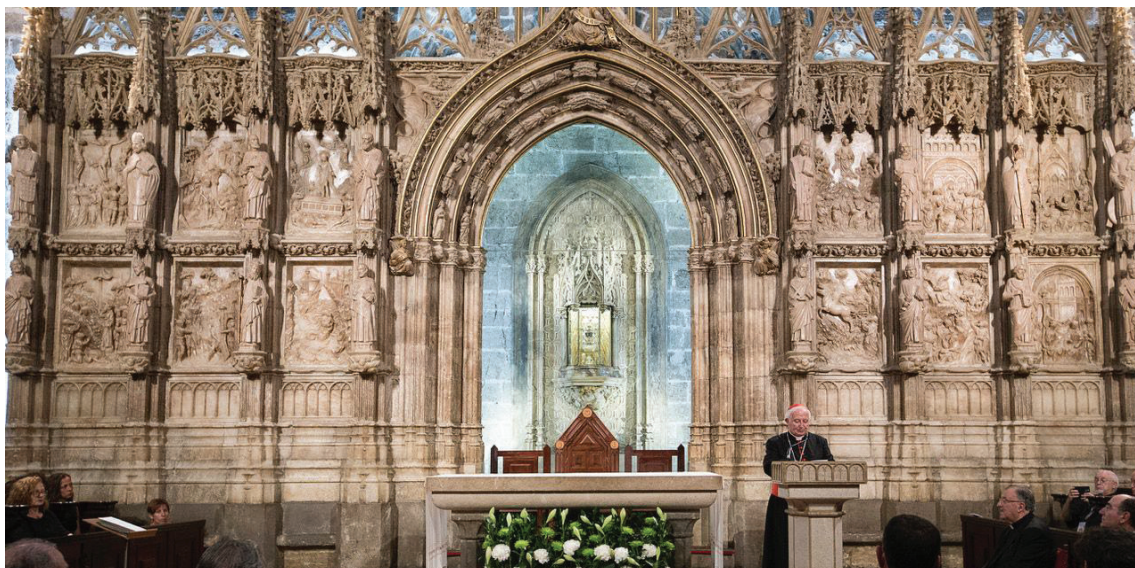


Figura 8. Vista general del retablo de alabastro de la Catedral de Valencia el día de la inauguración tras el proceso de intervención e iluminación LED. Imagen tomada de <https://www.fallasvalencia.com/noticias/el-arzobispo-y-el-presidente-de-iberdrola-inauguran-la-nueva-iluminacion-del-santo-caliz-en-la-catedral-de-valencia.html> (Consulta 01-12-21).

Figure 8. General view of the alabaster altarpiece of Valencia Cathedral on the day of the inauguration after the intervention process and LED lighting. Image taken from <https://www.fallasvalencia.com/noticias/el-arzobispo-y-el-presidente-de-iberdrola-inauguran-la-nueva-iluminacion-del-santo-caliz-en-la-catedral-de-valencia.html> (Accessed on 01-12-21).

Por otro lado, y de manera muy puntual, se realizó la adhesión de fragmentos de pequeño tamaño desprendidos mediante el empleo de adhesivo termoestable bicomponente tixotrópico *EPO 121* de CTS. Paralelamente, la presencia de pequeños elementos de hierro se pasivó con ácido tánico con alcohol etílico al 5% (p/v) y, posteriormente, se protegieron con una doble aplicación compuesta, por un lado, de una disolución de resina acrílica *Paraloid B44* y acetona al 10% (p/v) y, por otro lado, una última aplicación de cera para metales *Reswax WH* de CTS, disuelta con *ligroina* al 10% (p/v).

También, y con el fin de minimizar la penetración y la deposición de polvo ambiental en el sustrato del retablo, la protección del conjunto pétreo se llevó a cabo mediante la aplicación de una disolución de *Regalrez 1126* con *ligroina* 100-140 ml al 1% (p/v) y, añadido del aditivo *Tinuvin 292* al 1% (respecto a la resina *Regalrez 1126*, p/v). Se aplicó con brocha y en una única mano, manteniendo la transpirabilidad de la piedra.

Tras la intervención fue instalado en la Sala Capitular un nuevo sistema de iluminación mediante proyectores y tiras con tecnología LED que han mejorado sustancialmente la observación detallada del retablo, a la vez que es más eficiente y sostenible, reduciendo la huella de CO₂ (Fundación Iberdrola España, 2017). La Figura 8 muestra la obra una vez terminada la intervención.

Finalmente, se recomendó un ciclo regular de mantenimiento y de control del estado de conservación concretado en la limpieza superficial del soporte pétreo (polvo y depósitos varios) mediante aspiración controlada una vez cada dos años y, que el proceso fuera llevado a cabo por personal cualificado en tareas de conservación y la restauración de materiales pétreos. Asimismo, el control de las condiciones medioambientales (temperatura y HR) son fundamentales a pesar de que son difíciles de controlar por la naturaleza propia del espacio, pensado para la liturgia; sin embargo, ante la afluencia de visitantes, se aconsejó mantener bien ventilada la sala y, la posibilidad de instalar un termohigrómetro que controlase los niveles de modo que pudieran mantenerse alrededor de los 55 ± 5 HR, y 18 ± 2 ° C de temperatura.

Conclusiones

La intervención llevada a cabo sobre el retablo de alabastro del Santo Cáliz de la Catedral de Valencia supuso un gran reto por tratarse de una obra única y por las medidas de control demandadas.

En el tratamiento del retablo se establecieron unas pautas de intervención fiables y acordes al estado de conservación, tomándose como referente los estudios y controles previos de diagnóstico material, estilístico e histórico, tal y como marca el decálogo de la restauración. Asimismo, se desarrolló la fase de limpieza entendida como un proceso irreversible recuperando la calidad material del conjunto pétreo y manteniendo la huella del paso del tiempo. Diversos sistemas de limpieza fueron practicados, (i) una limpieza en seco reservada para la eliminación de la suciedad superficial no adherida de polvo diverso, mientras que (ii) la limpieza química abordó la retirada de manchas y barnices siguiendo los principios de eficacia, economicidad y precisión.

Conclusions

The intervention carried out on the alabaster altarpiece of the Holy Chalice in Valencia Cathedral was a great challenge due to the unique nature of the work and the control measures required.

In the treatment of the altarpiece, reliable intervention guidelines were established in accordance with the state of conservation, taking as a reference the previous studies and controls of material, stylistic and historical diagnosis, as established in the restoration decalogue. The cleaning phase was also carried out, understood as an irreversible process, recovering the material quality of the stone ensemble and maintaining the signs of the passage of time. Various cleaning systems were used: (i) dry cleaning reserved for the removal of unattached surface dirt and various types of dust, while (ii) chemical cleaning dealt with the removal of stains and varnish in accordance with the principles of efficiency, economy and precision.

Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude, firstly, to the team of the company Noema Restauradores SL, who have worked with tenacity and effort. Secondly, we would like to thank Salvador Vila, architect of Valencia Cathedral, the Archbishopric of Valencia and the Iberdrola Spain Foundation for their trust and, finally, all those people and institutions that have made the development of this intervention possible.

BIBLIOGRAPHY/BIBLIOGRAFÍA

- AENOR (2014) COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN 41. UNE-EN 16085:2014 Conservación del patrimonio cultural. Metodología para la toma de muestras de materiales del patrimonio cultural. Reglas generales. Madrid: AENOR. Comité técnico CTN 41/SC 8-Conservación, Restauración y Rehabilitación de Edificios.
- AENOR (2004). UNE-EN 1262:2004. Agentes de superficie. Determinación del valor del pH en disoluciones o dispersiones. Comité técnico AEN/CTN 55B. Madrid, España.
- AENOR UNE 41806-1 (2009): Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 1: Clasificación de los métodos de limpieza.
- AENOR UNE 41806-3 (2009): Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 3: Técnicas de limpieza mecánica.
- AENOR UNE 41806-5-1 (2009): Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 5-1: Técnicas de limpieza química. Aplicación en forma de solución.
- AENOR UNE 41806-5-2 (2009): Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 5-2: Técnicas de limpieza química. Aplicación en forma de apósitos.
- AENOR UNE-EN 16581 (2016): Conservación del patrimonio cultural. Protección superficial para materiales inorgánicos porosos. Métodos de ensayo de laboratorio para la evaluación de las prestaciones de los productos hidrófugos.
- Byrne, A. (1991). Wolbers cleaning methods: Introduction, AICCM Bulletin, 17:3-4, 3-11, DOI: 10.1179/bac.1991.17.3-4.001
- Carmola Muela J. (2003). Iconografía de Santos. Ed. Akal. Madrid. ISBN: 978-84-460-2931-1
- CARTA DE CRACOVIA (2000). “Principios para la conservación y restauración del patrimonio construido”. https://www.researchgate.net/publication/272563225_CARTA_DE_CRACOVIA_2000_PRINCIPIOS_PARA_LA_CONSERVACION_Y_RESTAURACION_DEL_PATRIMONIO_CONSTRUIDO. [Consulta: 2021-11-11].
- Garin Ortiz De Toranzo, F. (1959). Valencia Monumental en la Colección Los monumentos cardinales de España. Ed. Plus Ulte, Madrid, Págs. 38-42.
- González De Langarica Ruiz De Gauna, A. (2007) Estudio Teológico del trascoro de la Seo Valentina - Actual retablo del Santo Cáliz, antigua Sala Capitular – una Catequesis para una cultura en cambio. Tesis Doctoral inédita. Facultad de Teología San Vicente Ferrer, Valencia.
- González Ridruejo, E. (2009). APROXIMACIÓN AL ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE LIMPIEZA DEL RETABLO DEL SANTO CÁLIZ DE LA CATEDRAL DE VALENCIA. <http://hdl.handle.net/10251/14203>
- Fundación Iberdrola España (2017). Iberdrola inaugura la nueva iluminación de la Capilla del Santo Cáliz de la Catedral de València. <https://www.fundacioniberdrolaespana.org/sala-de-comunicacion/2017/iberdrola-inaugura-la-nueva-iluminacion-de-la-capilla-del-santo-caliz-de-la-catedral-de-valencia>. [Consulta: 2021-11-11].
- ICOMOS-ISCS. (2011). Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns. Disponible en: <https://bit.ly/icomosm7gJ>
- Ministerio De Educación, Cultura Y Deporte (2013). Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Documentación y Publicación. <<https://goo.gl/PWUs6f>> [Consulta: 2021-10-11].
- Muñoz, A. (2016). El alabastro como material artístico: características y propiedades de una roca singular La Historia del Arte desde Aragón: Jornadas de Investigadores Predoctorales: Daroca, 28 y 29 de noviembre de 2014 / coord. por Alberto Castán Chocarro, ISBN 978-84-16515-56-1, págs. 381-389.
- Perales Azorín, M. (2011). Estudio y aplicación de geles en la limpieza del alabastro. <http://hdl.handle.net/10251/15555>.
- De Louis, Reáu (1997a). Iconografía del arte Cristiano de la G a la O. Barcelona, ISBN:84-7628-212-5
- De Louis, Reáu (1997b). Iconografía del arte Cristiano de la P a la z. Barcelona, ISBN:84-7628-223
- Sánchez Navarrete, M. (1980). El Santo Cáliz. Valencia Historia y Monumental. Pág. 4. Valencia, Imp. Montañana.
- Sanchis Sivera, J. (1909). La catedral de Valencia, Guía histórica y artística, Valencia.
- Stulik, D.; Miller, D.; Khanjian, H.; Khandekar, N.; Wolbers, R.; Carlson, J.; Petersen, W.C. (2004). Solvent Gels for the Cleaning of Works of Art: The Residue Question, Edited by Valerie Dorge; Research in Conservation The Getty Conservation Institute.
- VVAA (1991). Guía de Museos de la Comunidad Valenciana Conselleria de Cultura, Educació i Ciència – València.

LA CERÁMICA EN LA ESTACIÓN DEL NORTE DE VALENCIA. EL NECESARIO REGISTRO MATERIAL-CONSTRUCTIVO.

CERAMICS IN THE NORTH STATION OF VALENCIA. THE NECESSARY MATERIAL-CONSTRUCTIVE REGISTRATION.

Aurora Martínez-Corral

Ph. D. por la Universitat Politècnica de Valencia. Profesora asociada en el departamento de Construcciones Arquitectónicas de la UPV. E-mail: aumarcor@csa.upv.es

PhD. from the polytechnic university of Valencia. Part-time professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. E-mail: aumarcor@csa.upv.es

Javier Cárcel-Carrasco

Ph D. por la Universitat Politècnica de València. Profesor titular de universidad. Departamento de construcciones arquitectónicas de la UPV. E-mail: fracarc1@csa.upv.es.

PhD. from the polytechnic university of Valencia. Full professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. E-mail: fracarc1@csa.upv.es.

M^a Carmen Carnero Moya

Ph D. Profesora titular de universidad. Departamento de organización de empresas de la UCLM. Codirectora del grupo de investigación PREDILAB. E-mail: carmen.carnero@uclm.es.

PhD. Full professor in the Department of business organisation at the UCLM. Co-director of the PREDILAB research group. E-mail: carmen.carnero@uclm.es.

Luis Palmero Iglesias

Ph D. por la Universitat Politècnica de València. Profesor titular de universidad. Departamento de construcciones arquitectónicas de la UPV. E-mail: lpalmero@csa.upv.es.

PhD. from the polytechnic university of Valencia. Full professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. E-mail: lpalmero@csa.upv.es.

Abstract

The station of the Valencia Northern Railway Company (Estació del Nord) is an exceptional construction for several reasons, one of them being the wide range of materials present in the passenger building. Within the diversity of materials, techniques and finishes, the presence of ceramic materials stands out. This article details the different ceramic materials, formats, pieces and construction details in the travellers' building with two objectives: firstly, to serve as a basis for the necessary material-construction record that will serve as a guide for future interventions in the building and, secondly, to form part of the catalogue of protected elements in order to improve knowledge and heritage preservation of the building, bearing in mind that both the nature of some of the pieces and some of the techniques used have disappeared and only the material-constructive registration can preserve them.

Keywords

heritage, railways, materials, construction, rehabilitation, sustainability

Introducción

La estación del norte de Valencia se construyó por la compañía de los caminos de hierro del Norte que, junto a MZA fueron las dos grandes compañías ferroviarias que existieron en España hasta la creación de RENFE, entre los años 1906 y 1917. El excepcional edificio de viajeros existente cuya categoría como estación de primera no correspondía a la población y tráfico ferroviario a priori existente en la ciudad de Valencia, fue consecuencia de la confluencia de una serie de factores favorables como fueron el antecedente de la figura del marqués de Campo, el espectacular crecimiento demográfico que había sufrido la ciudad, la bonanza económica existente en la ciudad y en la compañía ferroviaria, y la presidencia de la compañía por parte del ingeniero Félix Boix, el único español que dirigió la compañía de origen francés y que permitió que Demetrio Ribes, también el único arquitecto español que tuvo la compañía, pudiera junto con el ingeniero Grasset, proyectar y construir la singular estación que tenemos en la ciudad.

La estación fue declarada monumento histórico artístico nacional y bien de interés cultural (BIC) en 1983.¹ siendo la primera estación ferroviaria declarada BIC en España² con incoación del expediente de delimitación de entorno de protección de BIC³. También el Plan General de Valencia la incluye en su catálogo con detalle de valores patrimoniales. Entre otros, valoración arquitectónica (adscripción tipológica, carácter modelo-referencia) y con valoración pormenorizada (fachada principal, trasera o lateral, cubierta, estructura especial interna, torreones, decoración interna, escalera y antigua cafetería).

El Proyecto, firmado por el ingeniero jefe Enrique Grasset⁴ ya que las estaciones eran competencia de los ingenieros y donde los arquitectos sólo colaboraban, en las grandes compañías, en las cuestiones del ornato, es un documento escueto por lo que, el caso de la estación valenciana, también supuso una excepción ya que el tándem ingeniero-arquitecto se llevó a cabo en toda la obra, la intervención de Ribes alcanzó todas las partidas y el importante grado de interacción de diversos oficios magistralmente ejecutado preconiza una buena dirección de obra colaborando tanto el elevado nivel profesional en los oficios que existió en el momento como el elevado presupuesto con el que contó la estación.

Notas sobre la construcción del edificio de viajeros de la estación

La estación del Norte de Valencia supuso un cambio radical respecto de la imagen de la compañía (estilo Segundo imperio francés) donde los materiales juegan un papel fundamental en conseguir esa imagen “de marca” (ladrillo cerámico rojo aplantillado visto, recercados de huecos, detalles ornamentales cornisas y molduras a base de piedra natural, zócalos de granito y cubierta de pizarra con cresterías metálicas de remate). Ribes imprime una nueva imagen a la estación, con poética modernista.⁵ inspirada en el secesionismo vienés que tiene un doble reto: por un lado, ser aprobada por la compañía ferroviaria que es la promotora del edificio y, por otro lado, ser la imagen urbana de un edificio público cuya imagen dista mucho de la imagen proporcionada por otros edificios representativos en la ciudad, donde el estilo predominante son los eclecticismos o la revisión de los estilos clásicos. El Ayuntamiento de Mora y Carbonell (1906-1930) o el edificio de correos de Navarro Pérez (1915-1922) suponen dos claros ejemplos del estilo dominante en los edificios públicos de la ciudad y donde la estación del Norte supone un sustancial cambio de poética.

¹ R-I- 51-0004890). R.D. 1925/83. B.O.E. 12/7/1983.

² Sólo 11 estaciones están incluidas en el Registro General de Bienes de Interés Cultural. De ellas únicamente 4 están declaradas mientras las otras 7 sólo están incoadas desde hace décadas en algunos casos como ocurre con las estaciones de Atocha o Príncipe Pío. Nótese que ocupan grandes superficies de terreno de un único propietario en posiciones muy céntricas, lo que las hace muy golosas para la especulación.

³ DOGV nº 2079 (30/7/93).

⁴ Enrique Grasset y Echevarría, ingeniero de caminos. Ingeniero jefe de la compañía de los caminos de hierro del Norte (La ciudad lineal, 10/10/1918. año XXIII nº 685 p. 1). En 1907 era jefe adjunto del servicio de vías y obras de la Cª del Norte.

⁵ El modernismo es más que un estilo. Es un modo de hacer donde se diseñan todos y cada uno de los detalles y elementos que componen el edificio así como se disponen de manera armoniosa con el resto.

Introduction

The Valencia North Station was built by the Northern Company, which together with MZA were the two major railway companies that existed in Spain until the creation of RENFE, between 1906 and 1917. The exceptional passenger building, whose category as a first class station did not correspond to the population and movement a priori existing in the city of Valencia, was the result of the confluence of a series of favourable factors such as the background of the figure of the Marquis of Campo, the spectacular demographic growth that the city had undergone, the economic boom in the city and in the railway company, and the presidency of the company by the engineer Félix Boix, the only Spaniard to direct the company of French origin, which allowed Demetrio Ribes, also the only Spanish architect that the company had, to design and build, together with the engineer Grasset, the unique station that we have in the city.

The station was declared a national historic-artistic monument and an Asset of Cultural Interest (BIC) in 1983⁶, being the first railway station to be declared a BIC in Spain⁷ with the opening of a file for the delimitation of the BIC⁸ protection environment. The Valencia General Plan also includes it in its catalogue with details of its heritage values. Among others, architectural valuation (typological ascription, model-reference character) and with detailed valuation (main façade, rear or side, roof, special internal structure, towers, internal decoration, staircase, and old cafeteria).

The Project, signed by the chief engineer Enrique Grasset⁹, since stations were the responsibility of engineers and architects only collaborated, in large companies, in matters of ornamentation, is a brief document, so that the case of the Valencian station was also an exception, since the engineer-architect tandem was involved in all the work, Ribes's intervention reached all the items and the important degree of interaction of different trades, masterfully executed, advocates a good project management, with the collaboration of both the high professional level in the trades that existed at the time and the high budget that the station had.

Notes on the construction of the station's passenger building

The Valencia North station represented a radical change with respect to the company's image (French Second Empire style), where the materials play a fundamental role in achieving this "brand" image (exposed red ceramic brick, recesses, ornamental details such as cornices and mouldings based on natural stone, granite plinths and slate roof with metal crests). Ribes imprinted a new image on the station, with modernist¹⁰ poetics inspired by Viennese secessionism, which had a double challenge: on the one hand, to be approved by the railway company, which was the promoter of the building and, on the other hand, to be the urban image of a public building whose image was far removed from the image provided by other representative buildings in the city, where the predominant style was eclecticism or the revision of classical styles. The Town Hall by Mora y Carbonell (1906-1930) or the post office building by Navarro Pérez (1915-1922) are two clear examples of the dominant style in the city's public buildings and where the North Station represents a substantial change of poetics.

⁶ R-I- 51-0004890). R.D. 1925/83. B.O.E. 12/7/1983.

⁷ Only 11 stations are included in the General Register of Assets of Cultural Interest. Of these, only four have been declared, while the other seven have only been registered for decades in some cases, such as the stations of Atocha or Príncipe Pío. Note that they occupy large areas of land owned by a single owner in very central locations, which makes them very attractive for speculation.

⁸ DOGV nº 2079 (30/7/93).

⁹ Enrique Grasset y Echevarría, civil engineer. Chief engineer of the company of the Northern Iron Roads (La ciudad lineal, 10/10/1918. year XXIII nº 685 p. 1). In 1907, he was deputy head of the roads and works service of the C^a del Norte.

¹⁰ Modernism is more than a style. It is a way of doing things where each one of the details and elements that make up the building are designed and arranged harmoniously with the rest.

La construcción en un primer lugar es adjudicada por concurso a la empresa Catalana General de Crédito, pero ese contrato se rescinde y la obra se ejecuta finalmente por contratas parciales. Casi todas las casas locales (la ciudad contaba con un alto grado de especialización y diversificación artesanal) y nacionales lo cual todavía pone más en valor la dirección de obra. El coste de la obra fue de 2.5 millones el edificio de viajeros y 9 millones el total de la estación.

La estación del Norte se construye con las técnicas tradicionales en nuestra zona geográfica: estructuras murarias que sirven a su vez de fachadas o cerramientos verticales. Eso sí, muestra en el vestíbulo esos primeros avances en la industrialización que son los soportes metálicos, aunque, a diferencia de Otto Wagner en las estaciones de metro de Viena, los reviste en este caso de Trencadís cerámico con base y banco de madera con friso decorativo cerámico. (A finales del XIX se produce la industrialización de perfilería metálica bien a base de perfiles laminados, bien a base de fundición)

Así, el comienzo de las obras se produce el dos de agosto de 1906 (el alcalde, junto al ministro A. Jimeno a las 11 de la mañana coloca la primera piedra) y 11 años más tarde se produce la inauguración sin boato alguno debido a las tensiones existentes entre los trabajadores ferroviarios. Durante toda la construcción, ni mientras se construía el edificio de viajeros ni mientras se colocaba la gran bóveda, se interrumpió el tráfico ferroviario.

Los materiales cerámicos en el edificio de viajeros de la estación.

La cerámica está presente en la mayor parte de las principales partidas constructivas, con diferentes tipos de material cerámico, ejecución y acabado. Así aparece en la partida de estructura ya que la estación se proyecta con muros de carga de ladrillo macizo, también los forjados se ejecutan con entrevigado resuelto a base de revoltón cerámico, las cubiertas tanto la plana del cuerpo principal del edificio de viajeros como las inclinadas a cuatro aguas que se proyectan para cubierta de las alas laterales del mismo edificio como de los almacenes emplean materiales cerámicos como seguidamente se describe, y, por último aparece en la partida de revestimientos donde expresa una gran variedad de formatos y acabados. No podemos dejar de mencionar los elementos decorativos, presentes de manera superpuesta en la fachada principal -sin distorsionar su lectura compositiva- y también el empleo de la cerámica como vehículo para diversas manifestaciones artísticas: desde los mosaicos de Maumejean hermanos, hasta las pinturas al fuego de Muñoz Dueñas, pasando por las mayólicas empleadas en las columnas del vestíbulo principal.

Siguiendo la secuencia constructiva, los muros de carga son los primeros elementos del edificio que se ejecutan con ladrillo cerámico, aunque se alejan de la tradición constructiva de Norte donde el ladrillo se deja visto con fábricas ejecutadas a escantillón con juntas a hueso, tomados con mortero de cemento fino. En el caso de la estación valenciana, estos muros se proyectan revestidos y se configuran con fábrica de tres pies de espesor con aparejo gótico o flamenco y zócalo en el extradós a base de piedra de Borriol. Los dinteles se realizan con arcos rebajados con 6 roscas, la segunda dispuesta a tabla, y el resto a sardinel.

Los forjados se ejecutan a base de perfiles en T metálicos y revoltones cerámicos ejecutados mediante ladrillos macizos dispuestos a tabla. También nos encontramos la cerámica presente en las cubiertas: en este caso, como material de acabado en las cubiertas inclinadas a 4 aguas presentes en las alas laterales mediante teja marsellesa o de encaje claveteada sobre rastreles (

Ilustración 1) y también como acabado en la cubierta plana¹¹ del cuerpo central. Del análisis de fotografía antigua y tratados de construcción de la época, se deduce cubierta “a la catalana” (anteriormente denominada “a la madrileña”) compuesta por tabiquillos y tablero de 3 hojas de rasilla tomadas con yeso, cal y cemento portland posiblemente (la composición tradicional era yeso-cal-cemento natural). Cuenta con mimbrel perimetral de separación entre muros y tableros para permitir la

¹¹ No se ha podido constatar la pendiente original dado que se han realizado intervenciones que no permiten ver la azotea original. Por ello, no se puede confirmar si se trata de una cubierta plana (pendiente hasta 5%) o de un tejado de baja pendiente (pendiente comprendida entre el 5-15%).

libre circulación de aire y, aunque existían ya patentes de impermeabilización en España, no es posible confirmar si la cubierta disponía de alguno de estos sistemas.

The construction was initially awarded by tender to the company Catalana General de Crédito, but this contract was terminated, and the work was finally executed by partial contracts. Almost all of them were local (the city had a high degree of specialisation and diversification of craftsmanship) and national firms, which made the work management even more valuable. The cost of the work was 2.5 million for the passenger building and 9 million for the station.

The North station is built using traditional techniques in our geographical area: wall structures that also serve as façades or vertical enclosures. It does, however, show in the vestibule those first advances in industrialisation that are the metallic supports, although, unlike Otto Wagner in the Vienna underground stations, in this case he clads them with ceramic Trencadís with a wooden base and bench with a decorative ceramic frieze. (At the end of the 19th century, the industrialisation of metal profiles took place, either based on laminated profiles or cast iron).

Thus, the beginning of the works took place on the 2nd of August 1906 (the mayor, together with the minister A. Jimeno at 11 o'clock in the morning, laid the first stone) and 11 years later the inauguration took place without any pomp due to the existing tensions among the railway workers. During the whole construction, neither while the passenger building was being built nor while the great vault was being placed, the railway traffic was interrupted.

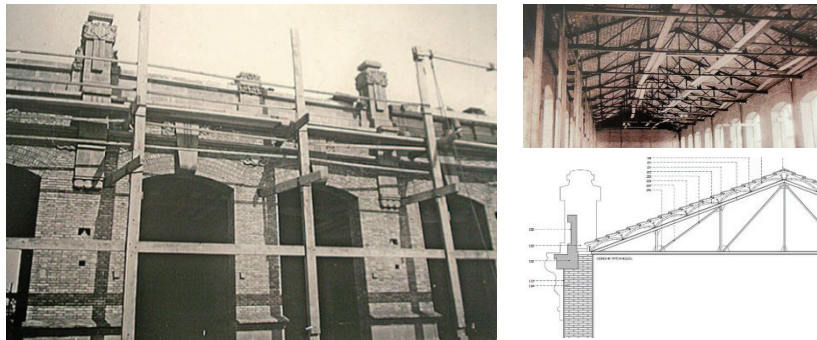
Ceramic materials in the station's passenger building.

Ceramic is present in most of the main construction items, with different types of ceramic material, execution, and finish. Thus it appears in the structural section, as the station is designed with solid brick load-bearing walls, the floor slabs are also built with beams made of ceramic revolt, the flat roofs of the main body of the passenger building and the sloping hipped roofs designed for the side wings of the same building and the warehouses use ceramic materials as described below, and, finally, it appears in the cladding section where it expresses a wide variety of formats and finishes. We cannot fail to mention the decorative elements, which are superimposed on the main façade - without distorting its compositional reading - and the use of ceramics as a vehicle for various artistic manifestations: from the mosaics by Maumejean brothers to the fire paintings by Muñoz Dueñas, as well as the majolica tiles used on the columns in the main lobby.

Following the construction sequence, the load-bearing walls are the first elements of the building to be built with ceramic brick, although they are a departure from the building tradition of the North, where the brick is left exposed with masonry executed in scantlings with bone joints, taken with fine cement mortar. In the case of the Valencian station, these walls are planned to be clad and are made of three-foot thick masonry with Gothic or Flemish masonry and a plinth on the top surface based on Borriol stone. The lintels are made with lowered arches with 6 threads, the second one arranged on a slab, and the rest on a sardinel.

The floor slabs are made of metal T-profiles and ceramic vaults made of bricks laid in slabs. Ceramic tiles are also present on the roofs: in this case, as a finishing material on the sloping four-pitched roofs on the side wings using Marseillaise or interlocking tiles nailed to battens (Illustration 1) and as a finish on the flat roof¹² of the central body. Analysis of old photographs and construction treatises of the period reveals a Catalan-style roof (formerly known as 'Madrid-style') made up of partition walls and a three-panel roof made of rasilla tiles, possibly with plaster, lime, and Portland cement (the traditional composition was gypsum-lime-natural cement). It has a perimetral wickerwork separating the walls and boards to allow air to circulate freely and, although there were already patents for waterproofing in Spain, it is not possible to confirm whether the roof had any of these systems.

¹² It has not been possible to determine the original slope, as there have been interventions that have made it impossible to see the original roof. It is therefore not possible to confirm whether it is a flat roof (slope up to 5%) or a low-slope roof (slope between 5-15%).

Ilustración 1. Imágenes construcción muros y forjados. Sección constructiva

Fuente: Fotografías: La mirada de L'arquitecte. Sección: E. propia

La cerámica se concentra especialmente en las decoraciones donde las temáticas son: vegetales¹³, secesionista en la versión geométrica (con clara alusión de piezas a las empleadas por O. Wagner¹⁴), regional (escudos, mosaicos) y corporativa de la compañía (la estrella de 5 puntas era el emblema de la compañía donde cada punta simbolizaba uno de los continentes que el ferrocarril iba a unir).

Todas las piezas presentes en el edificio con el característico reflejo metálico, especialmente presentes en el vestíbulo de salidas y en la fachada principal, fueron fabricados en La Ceramo. J. Ros, cofundador de La Ceramo, ebanistero en origen, descubre casualmente, la fórmula del reflejo dorado. Este tipo de cerámica se considera originaria de Bagdad y traída a la península por los musulmanes en el siglo X. Esta técnica de loza con reflejo metálico es compleja ya que requiere de tres cocciones, lo cual justifica, junto con el coste de la propia materia prima y los elementos empleados que se trata de un producto de carácter lujoso. Con la primera cocción se obtiene un bizcochado (piedra de barro sin esmaltar), al proceder a la segunda se cuece con el esmalte estanciero blanco y opaco que sirve de fondo o base y otros esmaltes como el azul de cobalto. La última es para el reflejo, se requiere una menor temperatura con un pigmento elaborado mediante una mezcla de sulfuro de plata, cobre y bermellón, que se aplicaba disuelto en vinagre y se cocía con una abundante cantidad de humo que se conseguía según la experiencia usando combustibles con hidrocarburos aromáticos o leña de romero. La valencia industrial, otra de las empresas cerámicas participantes alcanzó tal nivel técnico que se llegó a paralizar la importación del azulejo tipo inglés, con decoraciones en relieve, arista o tubo (sistema belga), y mayólica que aparecen tanto al exterior como al interior, y cuya dirección técnica desde 1910 fue el pintor Muñoz Dueñas que también pinta las escenas costumbristas de la antigua cafetería. La casa Gil y Cámara y azulejos Onofre Valdecabres encargados de la azulejería principalmente también desarrollaron varias patentes de sistemas de fabricación.

Los mosaicos de la entrada, mostrando a las guardianas de día y de noche, ubicados flanqueando el hueco del cuerpo central, son obra del artista José Mongrell y fueron realizados por la casa Maumejean, de origen francés y posteriormente implantada en Madrid y Barcelona, y que también se encargó de los emplomados de vidrio.

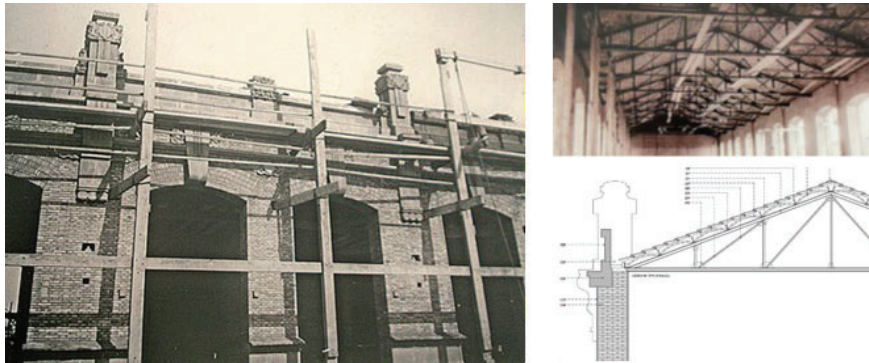
También se empleó trencadís para la ejecución de revestimientos interiores y exteriores (aseos exteriores desaparecidos) aunque, a diferencia respecto al uso que hizo Gaudí, aquí las piezas no eran sobrantes, sino que se rompieron intencionadamente para la ejecución de estos revestidos y decoraciones. Por último, del vestíbulo hay que destacar las columnas exentas donde la cerámica aparece de diversas formas: en incrustaciones en el zócalo de madera de la base; en trencadís y mosaico en el fuste y en el capitel de mayólica.

¹³ Preferentemente naranjos y flor de azahar en alusión a la importancia del comercio de naranja y donde el ferrocarril era el medio de transporte.

¹⁴ Por ejemplo, las guirnaldas de flores existentes en la fachada principal son de clara influencia, tanto en diseño como en los colores empleados, a las existentes en la Majolikahaus de Wagner en Viena.

La antigua cafetería es la estancia “reina” en lo que a cerámica se refiere: desde las decoraciones de mayólica de los zócalos, hasta el trencadís con esas guirnaldas vegetales (a modo de cortina suspendida)

Illustration 1. Images of wall and slab construction. Construction section



Source: Photographs: La mirada de L'arquitecte. Section: Own elaboration

The ceramics are especially concentrated in the decorations where the themes are vegetal¹⁵, secessionist in the geometric version (with clear allusion of pieces to those used by O. Wagner¹⁶), regional (coats of arms, mosaics) and corporate of the company (the 5-pointed star was the emblem of the company where each point symbolised one of the continents that the railway was going to join).

All the pieces present in the building with the characteristic metallic lustre, especially present in the departure hall and on the main façade, were manufactured at La Ceramo. J. Ros, co-founder of La Ceramo, originally a cabinetmaker, discovered by chance the formula for the golden lustre. This type of pottery is considered to have originated in Baghdad and was brought to the peninsula by the Muslims in the 10th century. This technique of lustre-painted earthenware is complex as it requires three firings, which, together with the cost of the raw material itself and the elements used, makes it a luxurious product. The first firing produces a bisque (unglazed earthenware stone), the second firing is fired with the opaque white tin glaze that serves as a ground or base and other glazes such as cobalt blue. The last is for the reflection, requiring a lower temperature with a pigment made from a mixture of silver sulphide, copper, and vermilion, which was applied dissolved in vinegar and fired with an abundant amount of smoke which was achieved according to experience using aromatic hydrocarbon fuels or rosemary wood. The Valencia Industrial, another of the participating ceramic companies, reached such a technical level that the importation of English type tiles was stopped, with decorations in relief, groin, or tube (Belgian system), and majolica tiles that appear both on the exterior and interior, and whose technical direction from 1910 was the painter Muñoz Dueñas, who also painted the scenes of local customs in the old cafeteria. The Gil y Cámara company and Onofre Valdecabres tiles, who were mainly responsible for the tiling, also developed several patents for manufacturing systems.

The mosaics at the entrance, showing the guardians by day and by night, flanking the opening of the central body, are the work of the artist Jose Mongrell and were made by the Maumejean company, of French origin and later established in Madrid and Barcelona, which was also in charge of the glass leadwork.

Trencadís was also used for the interior and exterior cladding (exterior toilets that no longer exist) although, unlike Gaudí's use, here the pieces were not left over, but were intentionally broken for the execution of the cladding and decorations. Finally, in the vestibule, the freestanding columns are worth mentioning, where ceramics appear in various forms: in inlays in the wooden plinth at the base; in trencadís and mosaic in the shaft and in the majolica capital.

¹⁵ Preferably orange trees and orange blossom in allusion to the importance of the orange trade and where the railway was the means of transport.

¹⁶ For example, the flower garlands on the main façade are clearly influenced by the design and colours used in Wagner's Majolikahaus in Vienna.

como hace el secesionismo vienes) con la banda superior a base de escenas costumbristas de Muñoz Dueñas con azulejo esmaltado a “gran fuego” de la “Valencia Industrial” y con el nombre de la compañía también pintado en azulejo recorriendo el perímetro de la estancia. La ejecución de divisiones mediante el empleo de piezas en relieve cerámicas existentes en el techo es un ejemplo de la cuidada dirección de obra requiriendo un minucioso replanteo.

Finalmente, el acceso a oficinas del torreón izquierdo es otro espacio donde podemos contemplar un variado uso de la cerámica con piezas esmaltadas y en relieve, piezas especiales (escalones curvos o rosetones parte superior zócalo de mármol), mosaicos (en el mostrador), emblema de la compañía y letreros en el pórtico de acceso a oficinas. En el caso de las escaleras, se cubren las tabicas y la zanca mediante piezas cerámicas esmaltadas diseñadas al efecto donde, además, debían insertarse los montantes de la barandilla. Así mismo, se diseñan piezas especiales para encuentros, esquinas, etc. evidenciando ese carácter modernista que rige la totalidad de la obra.

Respecto a las empresas que participaron, la siguiente tabla (tabla 1) recoge a los industriales y artistas que participaron en las decoraciones y revestimientos cerámicos presentes en la estación.

Tabla 1. Empresas de cerámica y artistas participantes en la estación del Norte

Cerámica interior	<ul style="list-style-type: none"> • La Ceramo (José Ros) (Valencia) • Valencia Industrial (Ant. Azulejos Antonio Bayarri y Hnos) (Burjassot) • Azulejos Onofre Valldecabres (Valencia)
Cerámica decorativa exterior	<ul style="list-style-type: none"> • Casa Gil y Cámara (Valencia) • La Ceramo (José Ros) (Valencia) • José Puig e hijo (Valencia) • Onofre Valldecabres (Valencia) • Ricardo Tárrega (Barcelona)
Mosaistas	<ul style="list-style-type: none"> • Maumejean hnos. (Madrid) • Lluís Bru (Barcelona)
Artistas cerámicos	<ul style="list-style-type: none"> • José Mongrell • Gregorio Muñoz Dueñas

Fuente: La construcción moderna, nº 12, 1918

Conclusiones

La realización de un registro exhaustivo material-constructivo que incluya desde el análisis histórico asociado (contexto, técnicas, materiales, artesanos, empresas, etc.) hasta la elaboración de detalles constructivos basados, en la medida de lo posible, en el reconocimiento no destructivo in situ de los diferentes elementos así como la caracterización de los diferentes materiales, debería formar parte de la documentación esencial de todo edificio patrimonial con el objetivo de servir de guía tanto para las operaciones cotidianas de mantenimiento como para aquellas de mayor envergadura. En este sentido, el esbozo presentado acerca de los materiales cerámicos existentes en la estación del Norte pretende únicamente mostrar un breve análisis preliminar cuya ampliación será objeto de otros trabajos. Así mismo, como prospectiva se plantea su realización exhaustiva en la totalidad de materiales presentes en la estación valenciana con el fin de colaborar a su salvaguarda y protección con criterio.

The old cafeteria is the "queen" room as far as ceramics are concerned: from the majolica decorations on the skirting boards, to the trencadís with these vegetal garlands (in the manner of a suspended curtain as in Viennese secessionism) with the upper band based on genre scenes by Muñoz Dueñas with "big fire" glazed tiles from "Valencia Industrial" and with the name of the company also painted in tiles around the perimeter of the room. The execution of divisions using ceramic relief pieces on the ceiling is an example of the careful management of the work, requiring a meticulous layout.

Finally, the access to the offices in the left tower is another space where we can see a varied use of ceramics with enamelled and relief pieces, special pieces (curved steps or rosettes on the upper part of the marble plinth), mosaics (on the counter), the company emblem and signs on the entrance portico to the offices. In the case of the staircases, the stair treads and the stringer were covered with glazed ceramic pieces designed for this purpose, where the uprights of the handrail were also to be inserted. In addition, special pieces were designed for the junctions, corners, etc., demonstrating the modernist character that governs the entire project

Regarding the companies that participated, the following table (table 1) lists the industrialists and artists who participated in the ceramic decorations and coverings present at the station.

Table 1. Ceramic companies and artists in the North station

Indoor ceramics	<ul style="list-style-type: none"> • La Ceramo (José Ros) (Valencia) • Valencia Industrial (Ant. Azulejos Antonio Bayarri y Hnos) (Burjassot) • Azulejos Onofre Valldecabres (Valencia)
Outdoor ceramics (decorative)	<ul style="list-style-type: none"> • Casa Gil y Cámara (Valencia) • La Ceramo (José Ros) (Valencia) • José Puig e hijo (Valencia) • Onofre Valldecabres (Valencia) • Ricardo Tárrega (Barcelona)
Mosaists	<ul style="list-style-type: none"> • Maumejean hnos. (Madrid) • Lluís Bru (Barcelona)
Ceramic artists	<ul style="list-style-type: none"> • José Mongrell • Gregorio Muñoz Dueñas

Source: La construcción moderna, n° 12, 1918

Conclusions

The creation of an exhaustive material-construction register that includes from the associated historical analysis (context, techniques, materials, craftsmen, companies, etc.) to the elaboration of construction details based, as far as possible, on the non-destructive in situ recognition of the different elements as well as the characterisation of the different materials, should form part of the essential documentation of any heritage building with the aim of serving as a guide both for the daily maintenance operations and for those of greater importance. In this sense, the outline presented on the ceramic materials existing in the North station is only intended to show a brief preliminary analysis, the expansion of which will be the subject of other works. Likewise, as a prospective, it is proposed to carry out an exhaustive analysis of all the materials present in the Valencian station to collaborate in their safeguarding and protection with criteria.

Bibliografía.

Aguilar Civera, I. (2004). Demetrio Ribes, arquitecto (1875-1921). Conselleria d'Infraestructures i Transports.

Camino Olea, M. S. C., & Carrió, J. M. (2001). La construcción con ladrillo: Evolución y tipología. Tratado de rehabilitación, Vol. 3, 2001, p. 161-184, 161-184.

Campbell, J. W. P. (2003). Brick: A world history. Thames & Hudson.

Martínez-Corral, A. (2017). Estación de ferrocarriles de la Compañía de los Caminos de Hierro del Norte en Valencia. Génesis, de la idea al proyecto, de los materiales a la construcción. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

Ribes, D. (2007). La mirada de l'arquitecte: Demetrio Ribes i la seua càmera estereoscòpica.

Paricio Ansuátegui, I. (2009): La construcción de la arquitectura. 1. Las técnicas. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña.

Vega y March, M. (1918): Arquitectura y construcción. 1917. Resumen anual de arquitectura, BBAA, ingeniería, decoración e industrias constructivas, así en España como en el extranjero. Ed: Thomas. Mallorca, 291. Barcelona.

S.A. (1918). La nueva estación del Norte. La construcción moderna nº 12. Año XVI. Pp. 90-93.

Bibliography.

Aguilar Civera, I. (2004). Demetrio Ribes, arquitecto (1875-1921). Conselleria d'Infraestructures i Transports.

Camino Olea, M. S. C., & Carrió, J. M. (2001). La construcción con ladrillo: Evolución y tipología. Tratado de rehabilitación, Vol. 3, 2001, p. 161-184, 161-184.

Campbell, J. W. P. (2003). Brick: A world history. Thames & Hudson.

Martínez-Corral, A. (2017). Estación de ferrocarriles de la Compañía de los Caminos de Hierro del Norte en Valencia. Génesis, de la idea al proyecto, de los materiales a la construcción. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

Ribes, D. (2007). La mirada de l'arquitecte: Demetrio Ribes i la seua càmera estereoscòpica.

Paricio Ansuátegui, I. (2009): La construcción de la arquitectura. 1. Las técnicas. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña.

Vega y March, M. (1918): Arquitectura y construcción. 1917. Ed: Thomas. Mallorca, 291. Barcelona.

S.A. (1918). La nueva estación del Norte. La construcción moderna nº 12. Año XVI. Pp. 90-93.

Acknowledgments:

This work has been carried out within the framework of the PREDILAB research group, as part of the research carried out at the University of Castilla La Mancha and entitled "Methodology and systems for improving maintenance and energy efficiency in the rehabilitation and reuse of industrial heritage. Phase 2".

This work was carried out at the Universitat Politècnica de Valencia in the framework of CONDEREFF Project (Ref. PGI05560-CONDEREFF). The authors deeply thank the Universitat Politècnica de València and all the people and organizations involved for their support and, especially, to the European Commission for their funding provision.

**ESTRATEGIAS Y CONSIDERACIONES DE MATERIALES SOSTENIBLES.
PROYECTO EJECUTIVO PARA LA DIGNIFICACIÓN DEL TEMPLO DE LA
MISERICORDIA “EL HOSPITALITO”**

**STRATEGIES AND CONSIDERATIONS OF SUSTAINABLE MATERIALS.
EXECUTIVE PROJECT FOR THE DIGNIFICATION OF THE TEMPLO DE LA
MISERICORDIA "EL HOSPITALITO".
PARTE 2**

Fabiola Colmenero Fonseca

Investigadora en el Instituto de Tecnología de los Materiales. ETS. Ingeniería de Edificación; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesora Investigadora, Arquitecto con Reconocimiento Laureado por la Universidad de Guanajuato, Master en Paisajismo, Jardinería y Espacio Público por la Universidad de Granada, Maestra en Ciudad y Espacio Público Sustentable por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente y Doctora en Artes por la Universidad de Guanajuato. E-mail: fcolmenerof@outlook.com

Ma. de la Luz Ávila Hernández

Investigadora Independiente. Guanajuato, Gto, Mexico. Arquitecto por la Universidad de Guanajuato, Maestra en Restauración de Sitios y Monumentos por la Universidad de Guanajuato. E-mail: loloavila69@hotmail.com

Luis Manuel Palmero Iglesias

Investigador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Área Edificación, Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular. Arquitecto Técnico e Ingeniero de Edificación, Master en Patología de la Edificación PhD por la Universitat Politècnica de València, Programa de Arquitectura, Sobresaliente Cum Laude. E-mail: lpalmero@csa.upv.es

Francisco Javier Cárcel Carrasco

Investigador en el Instituto de Tecnología de los Materiales. ETS. Ingeniería de Edificación; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Doctor Ingeniero Industrial. Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales. Ingeniero en electrónica por la Universidad de Valencia y Licenciado en Ingeniería mecánica y energética por la Universidad de París. Profesor Investigador E-mail: fracarc1@csa.upv.es

Graziella Bernardo

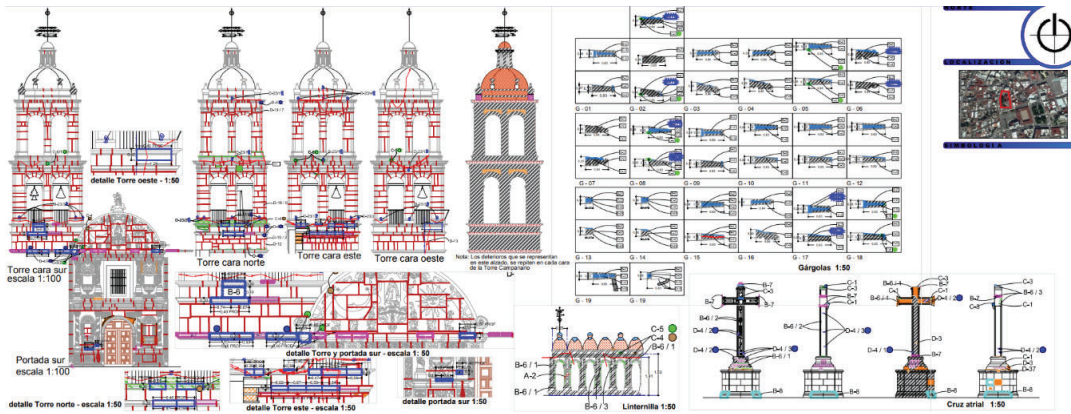
Investigadora científico-disciplinar en Ciencia y Tecnología de los Materiales en la Universidad de Basilicata. Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio presso l'Università degli. Studi della Basilicata. E-mail: graziella.bernardo@unibas.it

Abstract

To make a proposal for the intervention of sustainable building materials in the architectural restoration project, it is necessary to be studied from a multidisciplinary approach to a historic building. The restoration is guided by historical knowledge oriented to the search of the original text to reach a judgment on the objective qualities of the work; that is, they require an exhaustive investigation and intervention for the solution of its alterations and deteriorations. The monument should include "the set of things, of important interest, that have collective value", and that, in fact, constitute the architectural proposal of urban settlements. This perspective also addresses the relationship between the old and the new, between historic buildings and contemporary developments, in which it is proposed to meet current needs through functional adaptations in a way that does not damage the characteristics of historic facilities.

For the Restoration of the Templo del Hospitalito in the city of Irapuato, Gto. the correct guidelines and criteria for the project execution and the intervention of cultural assets are followed. In the stage of diagnosis of the alterations and deterioration of cultural property, the concepts that appear in the "Manual of preventive conservation of the cultural property in religious precincts" were analyzed (Morales R. 2017) Following the theory of thinning as the main tool to counteract the widespread practice of demolition "demolition in small separate sections, leaving open areas and rebuilding little or nothing", opening new views and beautifying the streets.

Kew words: Sustainable materials, Restoration Project, demolition, construction techniques, construction techniques.



BIBLIOLOGÍA	CLAVE	ALTERACION Y/O DETERIORO	BIBLIOLOGÍA	CLAVE	ALTERACION Y/O DETERIORO	BIBLIOLOGÍA	CLAVE	ALTERACION Y/O DETERIORO
A. ESTIMADOS RELATIVOS A LA ESTRUCTURA			C. ESTIMADOS RELATIVOS A MICROORGANISMOS Y ORGANISMOS BIOLÓGICOS			D. ESTIMADOS RELATIVOS A LA ACCIÓN HUMANA		
A-1	■	FISURA EN CANTERÍA	C-1	■	MICROORGANISMO (QUEJEN, MUSGO, HONGOS) EN GARGOLA DE CANTERÍA	D-19	■	CLAVOS, AL CAYATA, ABRAZADERAS, ETC.
A-2	■	GRETA EN CANTERÍA	C-2	■	MARCHA DE GUANO DE PALOMA	D-20	■	INTEGRACIÓN DE ESCOMBROS, MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN, BASURA, ETC.
A-3	■	DESPLAZE EN CANTERÍA	C-3	■	TRENCO DE ARBOL SECO	D-21	■	INTEGRACIÓN DE OBRA HUMANA
A-4	■	FISURA EN MURO	C-4	■	ESPEDE VEGETAL SUPERIOR (ARBUSTO)	D-22	■	INTEGRACIÓN DE OJERA DE BARRIO
A-5	■	QUEJEN EN MURO	C-5	■	ESPEDE VEGETAL INFERIOR (PLANTA)	D-23	■	INTEGRACIÓN DE TUBERÍA DE COBRE
B. ESTIMADOS RELATIVOS A LOS FACTORES FÍSICO- NATURALES			E. ESTIMADOS RELATIVOS A LA ACCIÓN HUMANA			D-24	■	PERDIDA DE SECCIÓN DE GARGOLA DE CANTERÍA POR ACCIÓN HUMANA
B-1	■	MANCHAS NEGRAS DE HUMEDAD EN CANTERÍA	E-1	■	INTEGRACIÓN DE APLANADOS CON OPONENTE TEXTURA Y GROSOR EN MURO	D-25	■	INTEGRACIÓN DE LUBRIFICACIÓN EN DESEUJO, EN TORRE
B-2	■	MANCHAS NEGRAS DE HUMEDAD EN GARGOLA DE CANTERÍA	E-2	■	INTEGRACIÓN DE JUNTAS AJENAS A ORIGINALES CON MATERIALES DIVERSOS	D-26	■	INTEGRACIÓN DE LUBRIFICACIÓN EN DESEUJO, EN TORRE
B-3	■	MANCHAS NEGRAS DE HUMEDAD EN PIEZO DE PALOMA DE BARRIO	E-3	■	INTEGRACIÓN DE RESANOS AJENOS A ORIGINALES CON MATERIALES DIVERSOS	D-27	■	PREZA DE CANTERÍA DAÑADA POR ROCE DE CUERDA
B-4	■	PERDIDA O DISREGACIÓN DE JUNTAS ENTRE PIEZAS DE CANTERÍA	E-4	■	PERFORACIÓN DE PIEZA DE CANTERÍA	D-28	■	INTEGRACIÓN DE MALLA ANTI PALOMAS EN CANTERÍA EN MAL ESTADO
B-5	■	PERDIDA TOTAL DE ESTRETEGÍA DE PIEZA DE CANTERÍA	E-5	■	YERRO MOTO O PAL TANTE EN CANCELERA DE PUERTA Y/O VENTANA	D-29	■	INTEGRACIÓN DE PLAS ANTI PALOMAS EN CANTERÍA EN MAL ESTADO
B-6	■	FISURA PARALELA DE ESTRETEGÍA DE PIEZA DE CANTERÍA	E-6	■	INTEGRACIÓN DE VENTILA Y MALLA DE GALLINERO EN CANCELERA DE VENTANA	D-30	■	INTEGRACIÓN DE PALAS ENTORZADO EN CORNISA Y SUPERFICIES PLANAS
B-7	■	PIEZA DE CANTERÍA DESPLAZADA (EN SU BORDO)	E-7	■	INTEGRACIÓN DE MURETE Y TRANSPARENCIA EN CANCELERA DE PUERTA Y/O VENTANA	D-31	■	FALTA DE IMPERMEABILIZANTE SOBRE PIEZO DE PALOMA DE BARRIO
B-8	■	EXFOLIACIÓN Y DESGASTE EN PIEZA DE CANTERÍA	E-8	■	DISPARIDAD DE YERRO EN TEXTURA Y TRANSPARENCIA EN CANCELERA DE PUERTA Y/O VENTANA	D-32	■	INTEGRACIÓN DE CABLE DE ACERO, COMO RETENIDA
B-9	■	HUMEDAD POR FILTRACIÓN Y ESCURRIMIENTO	E-9	■	INTEGRACIÓN DE TUBERÍA ELÉCTRICA DE 2" DE PVC EN DESEUJO	D-33	■	DESPRENDIMIENTO DE IMPERMEABILIZANTE SOBRE PETATILLO
B-10	■	HUMEDAD POR CAPILARIDAD	E-10	■	INTEGRACIÓN DE TUBERÍA ELÉCTRICA DE 2" DE PVC EN DESEUJO	D-34	■	PERDIDA DE ESTRUCTURA METÁLICA EN OJERA PERMETAL
B-11	■	DESPRENDIMIENTO DE PINTURA	E-11	■	INTEGRACIÓN DE CABLE DE RESISTENTE ELÉCTRICO DE BARRIO CON MEDIDOR Y CENTRO DE CARGA	D-35	■	REGISTROS DE PIE PARA RESGUARDO APARATOS ELÉCTRICOS, EN DESEUJO
B-12	■	DESPRENDIMIENTO DE APLANADO EN MURO (0.01 CM A 0.05 CM)	E-12	■	INTEGRACIÓN DE CABLE ELÉCTRICO AJENAMENTE, CON OPONENTES GROSOSOS	D-36	■	PERDIDA DE ESTRUCTURA METÁLICA EN REGISTROS DE PIE
B-13	■	DESPRENDIMIENTO DE APLANADO EN MURO (1.0 CM A 3.0 CM) - 4.0 CM	E-13	■	INTEGRACIÓN DE TUBERÍA DE FOSO ELÉCTRICO EN DESEUJO	D-37	■	TALLA EN CANTERÍA
B-14	■	ADORNAMIENTO DE APLANADO	E-14	■	INTEGRACIÓN DE PINTURA DE ACERO SOBRE OSB/OTI			
B-15	■	PROTECCIÓN DE HERBERIA DUEÑADA Y MANCHADA	E-15	■	INTEGRACIÓN DE LÁMINA Y TUBERÍA GALVANIZADA EN GARGOLA DE B.A.P.			
B-16	■	CANCELERA DE VENTANA EN MAL ESTADO POR INTemperismo (DECOLORACIÓN, PERDIDA DE MANTIQUE, ETC.)	E-16	■	GUARAPOLVO DESMENDADO Y CON OTRO TONDO DE PINTURA			
B-17	■	PUBLICACIÓN DE MADERA EN PUERTA POR INTemperismo (PC-01 Y PC-02)	E-17	■	GRAFITI SOBRE PINTURA			
			E-18	■	GRAFITI SOBRE CANTERÍA			

Imagen 8. Levantamiento de deterioros. Portada, torre, linternilla, Cruz atrial, y gárgolas - Registro de materiales, 2017. Elaborado por: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas y M.R.S. Arq. Ma De La Luz Ávila H./ Image 8. Survey of deterioration. Façade, tower, lantern, atrial cross, and gargoyles - Register of materials, 2017. Prepared by: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas and M.R.S. Arq. Ma De La Luz Ávila H.

Cubiertas

La presencia humedad en cubiertas produjo desprendimiento de impermeabilizante sobre el petatillo existente, además de que hay deterioro por el levantamiento del impermeabilizante y la acumulación de basura, acciones que contribuyen al mal funcionamiento de las bajantes de agua pluvial. También se presenta desprendimiento de aplanados en el muro de la cara sur de 1 a 3 cm de espesor.

Cúpula – Tambor – Linternilla

Prevalce el deterioro provocado por la humedad en la superficie de la cúpula, en los muros del tambor, en la linternilla y su capulín, aunado a la suciedad por la falta de limpieza y la mantención precaria que presentan estos elementos. Las filtraciones de agua en los muros, en la mayoría de las ocasiones son provocadas por la pérdida o inexistencia de plantilla y bruñido sobre cornisa y por la disgregación de boquillas entre juntas de piezas de cantería. La humedad trae como consecuencia el desprendimiento de aplanados de 1 a 3 cm de espesor en los muros del tambor. A la vez existen pequeñas áreas de desprendimiento de aplanados en la superficie de la cúpula. El desprendimiento de pintura y bruñido es constante en toda la superficie de la cúpula como en el capulín de la linternilla. La presencia de manchas y microorganismos se evidencia en la cornisa de la cúpula y a la vez en toda la extensión de la linternilla, provocando un desgaste y disgregación en los elementos de cantería de ambos elementos arquitectónicos. La veleta presenta deterioro en torno a su pintura.

Cruz atrial

La cruz atrial se encuentra expuesta al ambiente por lo que sus deterioros son varios: suciedad permanente debido al smog producido por el transporte vehicular, presencia de guano producto de la proliferación de aves, desgaste y exfoliación por la constante presencia de humedad (debido a la exposición permanente de agua, proveniente de las fuentes que se encuentran en el atrio), resanes inadecuados y el tallado indiscriminado producto de la acción humana.

Torre de campanario

El mayor deterioro presentado en la torre del campanario radica en su cantería. Ésta presenta pérdida y disgregación de boquillas o juntas entre sus piezas, que van de 1 a 3 cm. A su vez esta ausencia de junta permite que florezcan especies vegetativas menores que causan mayor deterioro. También se evidencia claramente el desportillamiento del borde de las piezas y la pérdida de estereotomía de éstas (ver piezas de cantería y dimensiones en cada en planos de deterioro). Una de las causas de este deterioro es debido a la ausencia o pérdida de plantillas, bruñidos e impermeabilizantes en cornisas y superficies planas. El desportillamiento del borde y la pérdida parcial de piezas de cantería provocan también una alteración visual por la discontinuidad en la lectura de los detalles y elementos arquitectónicos propios de la torre. No se registra la presencia de barrera contra aves (malla) por lo que existe un gran deterioro debido al guano, nido y presencia constante de aves. Los elementos de herrería presentes en cada vano de torre se encuentran en mal estado y con presencia de óxido Tanto en la superficie de la cúpula de la torre, como en la superficie del cupulín de la linternilla prevalece el deterioro provocado por la humedad debido a su exposición directa a las lluvias y a la intemperie. Dicho agente trae como consecuencia el desprendimiento de aplanados, desprendimiento de pintura y bruñido (craquelado). La veleta presenta deterioro en torno a su pintura y las campanas presentan guano y suciedad por falta de limpieza y mantenimiento.

Gárgolas

Son 19 gárgolas de cantería, unas zoomorfas y otras con diseño rectangular. Todas presentan deterioros por humedad debido a los escurrimientos de agua, suciedad permanente debido al smog producido por el transporte vehicular, guano y nidos producto de la proliferación de aves, presencia de microorganismos a causa de la humedad constante, y desgaste y exfoliación en su cantería. En la gárgola No. 19 el deterioro se refleja además en la integración de una lámina metálica y una tubería de PVC, ambos elementos adosados a la figura.

Roofs

The presence of humidity on roofs caused the waterproofing to peel off the existing petatillo, in addition to the deterioration caused by the lifting of the waterproofing and the accumulation of garbage, actions that contribute to the poor functioning of the rainwater downspouts. There is also a detachment of plaster on the south wall, 1 to 3 cm thick.

Dome - Drum – Lanternilla

The deterioration is caused by the humidity in the surface of the dome, in the walls of the drum, in the lantern, and its capulin, together with the dirtiness due to the lack of cleaning and the precarious maintenance that these elements present. The water filtrations in the walls, on most occasions, are caused by the loss or nonexistence of template and burnishing on the cornice and by the disintegration of nozzles between joints of stonework pieces. Moisture results in the detachment of 1 to 3 cm thick flatwork on the walls of the drum. At the same time, there are small areas of the detachment of plaster on the surface of the dome. The detachment of paint and burnishing is constant on all the surfaces of the dome as in the capulin of the lantern. The presence of stains and microorganisms is evident in the cornice of the dome and at the same time in all the extension of the lantern, causing wear and tear and disintegration in the masonry elements of both architectural elements. The weather vane presents deterioration around its painting.

Atrial cross

The atrial cross is exposed to the environment, so its deterioration is various: permanent dirt due to the smog produced by vehicular transport, presence of guano due to the proliferation of birds, wear and exfoliation due to the constant presence of humidity (due to the permanent exposure of water from the fountains in the atrium), inadequate repairs and indiscriminate carving caused by human action.

Bell Tower

The greatest deterioration in the bell tower is in its stonework. This presents loss and disintegration of nozzles or joints between its pieces, ranging from 1 to 3 cm. At the same time, this absence of joints allows minor vegetative species to flourish, causing greater deterioration. The chipping of the edge of the pieces and the loss of their stereotomy are also clearly evident (see masonry pieces and dimensions in each of the deterioration plans). One of the causes of this deterioration is the absence or loss of stencils, burnishing, and waterproofing on cornices and flat surfaces. The chipping of the edge and the partial loss of stonework pieces also cause a visual alteration due to the discontinuity in the reading of the details and architectural elements of the tower. There is no bird barrier (mesh), so there is a great deterioration due to the guano, nest, and constant presence of birds. The ironwork elements present in each tower span are in poor condition and have rust on both the surface of the dome of the tower and the surface of the lantern cupola, which is deteriorated by humidity due to direct exposure to rain and the elements. This agent results in the detachment of plating, detachment of paint, and burnishing (craquelure). The weather vane presents deterioration around its painting and the bells present guano and dirt due to lack of cleaning and maintenance.

Gargoyles

There are 19 stone gargoyles, some zoomorphic and others with a rectangular design. All of them are deteriorated by humidity due to water runoff, permanent dirt due to smog produced by vehicular transport, guano and nests due to the proliferation of birds, the presence of microorganisms due to constant humidity, and wear and exfoliation in their stonework. In gargoyle No. 19 the deterioration is also reflected in the integration of a metal sheet and a PVC pipe, both elements attached to the figure.

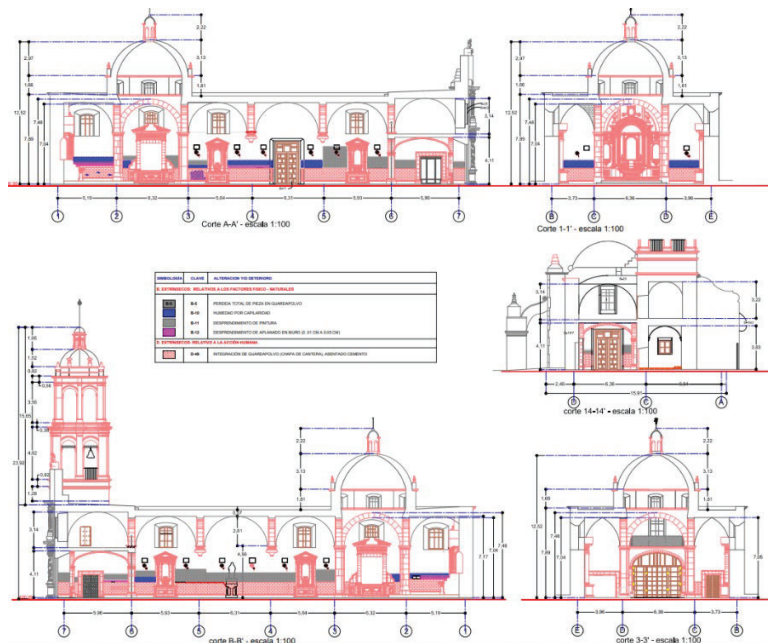


Imagen 9. Levantamiento de deterioros del estado actual, guardapolvo de cantera y muro perimetral., 2017. Elaborado por: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas y M.R.S. Arq. Ma De La Luz Ávila H./ Image 9. Deterioration survey of the current state, quarry dust cap and perimeter wall, 2017. Prepared by: M.R.S. Arq. M. Pilar Vargas and M.R.S. Arq. Ma De La Luz Avila H.

Descripción de la propuesta de intervención (Primera etapa)

Fachada sur Liberaciones. Las acciones de liberación serán concretas y definidas comenzando por la demolición de los resanes de mortero de cemento presentes en las áreas de los muros que acusen su presencia, a su vez se procederá a la demolición controlada de aplanados en mal estado entre 1 y 3 cm de espesor y de aquellos registrados que se encuentren dentro del rango entre 3 y 6 cm de espesor (como se indica en los planos). Se liberará también el material disgregado entre juntas o boquillas de piezas de cantería, de cornisas y enmarcamientos de vanos. Esta misma acción de liberación se empleará para la pintura existente en la totalidad del muro, ya que se requiere liberar restos de pintura con diferentes tonos, grosores, tipos y además que se propone el cambio de color. Limpiezas. Se contempla la limpieza total del muro, con agua limpia y jabón neutro, para quitar los restos de pintura que no se quitaron de forma manual. También se hará limpieza en seco y húmeda (agua limpia y jabón neutro) de superficies pétreas en las áreas de cornisa y en enmarcamientos de vanos para eliminar la suciedad, manchas, microorganismos o el guano de paloma existente. Para finalizar se realizará una limpieza húmeda a dos manos, únicamente en cornisas, o en áreas donde las manchas no se eliminaron con la limpieza húmeda, con una solución a base de agua destilada, jabón neutro y solución de agua destilada-etanol. Se realizará limpieza de elementos de herrería y cancelería, descripción que se indica en el catálogo. Integraciones. Se harán repellados y aplanados, respectivamente, como se indica en los planos. La integración de emboquillados en cornisas y enmarcamientos de vanos se realizará de manera manual y cuidadosa en todas aquellas juntas entre piezas de cantería que lo requieran. Para volver a establecer una lectura y solidez continua de los elementos en cornisa se deberá resanar los elementos deteriorados y los remates no mayor a 1 dm². Se procederá con la integración de una plantilla, bruñido e impermeabilizante a base de mezcla de jabón de pan-agua y alumbre, en la totalidad del cornisamento y en aquellas áreas planas que marca el plano de intervención. Se realizará la integración de material hidrofugante únicamente en áreas de cornisas. La integración de pintura de cal de color neutro será en la totalidad del muro con el objetivo de fondear el muro para bajar el tono actual y homogenizar la superficie. Finalmente se integrará la pintura a la cal de un color de tonalidad clara (se propone beige). Para evitar la presencia continua de aves se propone la integración de las barreras (púas)

Portada de cantería de fachada sur Liberaciones. Las acciones de liberación se encaminarán de manera precisa y controlada en las juntas o boquillas entre piezas de cantería que lo requieran. A la vez se procederá a la liberación y retiro de aquellas piezas de cantería que tengan una pérdida parcial y total en su estereotomía (ver plano de intervención). Limpiezas. Se harán limpieza en seco y húmeda (agua limpia y jabón neutro) de superficies pétreas para eliminar la suciedad, manchas, microorganismos o el guano de paloma existente. Para finalizar se realizará una limpieza húmeda a dos manos, únicamente en cornisas, o en áreas donde las manchas no se eliminaron con la limpieza húmeda, con una solución a base de agua destilada, jabón neutro y solución de agua destilada-etanol. Serán consolidadas con agua cal las piezas exfoliadas de bases de portada. Integración. Las acciones de integración de juntas y emboquillado se definirán en las áreas de cornisas o piezas referidas en planimetría. En aquellas piezas donde su estereometría se ve afectada ya sea parcial o totalmente se propone el cambio de pieza parcial o total (ver plano de intervención). Se procederá con la integración de una plantilla, bruñido e impermeabilizante a base de mezcla de jabón de pan-agua y alumbre, en la totalidad del cornisamento y en aquellas áreas planas que marca el plano de intervención. Para volver a establecer una lectura continua de los elementos en cornisa se deberá resanar los elementos deteriorados y los remates no mayor a 1 dm². Se propone la aplicación de un hidrofugante únicamente en elementos de cornisa. Para evitar la presencia continua de aves se propone la integración de las barreras (malla) Frente al deterioro de la puerta de acceso de madera se propone un tratamiento integral sobre la totalidad del material.

Description of the intervention proposal (First stage)

South façade Liberations. The release actions will be concrete and defined, starting with the demolition of the cement mortar patches present in the areas of the walls that show their presence. At the same time, we will proceed to the controlled demolition of the flattening in bad condition between 1 and 3 cm thick

and of those registered that are within the range between 3 and 6 cm thick (as indicated in the plans). Disintegrated material between joints or grout of masonry pieces, cornices, and framing of openings will also be released. This same action of liberation will be used for the existing paint in the totality of the wall since it is required to liberate remains of paint with different tones, thicknesses, types, and in addition that the change of color is proposed. Cleaning. The total cleaning of the wall is contemplated, with clean water and neutral soap, to remove the remains of paint that were not removed manually. There will also be dry and wet cleaning (clean water and neutral soap) of stone surfaces in the cornice areas and in the framing of openings to remove dirt, stains, microorganisms, or existing pigeon droppings. Finally, a two-coat wet cleaning will be performed, only on cornices, or in areas where stains were not removed by wet cleaning, with a solution based on distilled water, neutral soap, and distilled water-ethanol solution. Cleaning of ironwork and window and door frames will be carried out, as described in the catalog. Integrations. Plastering and flattening will be done, respectively, as indicated in the drawings. The integration of the grouting in cornices and framing of openings will be done manually and carefully in all those joints between masonry pieces that require it. To re-establish a continuous reading and solidity of the cornice elements, the deteriorated elements, and the finishes will have to be repaired no larger than 1 dm². We will proceed with the integration of a stencil, burnishing, and waterproofing based on a mixture of pan-water soap and alum, in the totality of the cornice and those flat areas marked on the intervention plan. The integration of waterproofing material will be carried out only in cornice areas. The integration of lime paint of neutral color will be in the totality of the wall to anchor the wall to lower the current tone and homogenize the surface. Finally, the lime paint will be integrated into a light color (beige is proposed). To avoid the continuous presence of birds, the integration of barriers (spikes) is proposed.

South façade stonework doorway Releases. The release actions will be directed in a precise and controlled manner in the joints or nozzles between masonry pieces that require it. At the same time, we will proceed to the liberation and removal of those masonry pieces that have a partial and total loss in their stereotomy (see intervention plan). Cleaning. Dry and wet cleaning (clean water and neutral soap) of stone surfaces will be done to remove dirt, stains, microorganisms, or existing pigeon guano. Finally, a two-coat wet cleaning will be performed, only on cornices, or in areas where stains were not removed by wet cleaning, with a solution based on distilled water, neutral soap, and distilled water-ethanol solution. Exfoliated pieces of cover bases will be consolidated with lime water. Integration. The actions of integration of joints and grouting will be defined in the areas of cornices or pieces referred to in planimetry. In those pieces where their stereometry is affected either partially or totally, a partial or total change of piece is proposed (see intervention plan). We will proceed with the integration of a stencil, burnishing, and waterproofing based on a mixture of bread-water soap and alum, in the totality of the cornice and those flat areas marked on the intervention plan. To re-establish a continuous reading of the cornice elements, the deteriorated elements, and the finishing touches should be repaired in no more than 1 dm². It is proposed to apply a water repellent only on cornice elements. To avoid the continuous presence of birds, the integration of barriers (mesh) is proposed. Given the deterioration of the wooden access door, an integral treatment of the entire material is proposed.

Fachada este Liberaciones. Las acciones de liberación serán concretas y definidas comenzando por la demolición de los resanes de mortero de cemento presentes en las áreas de los muros que acusen su presencia. A su vez se procederá a la demolición controlada de aplanados en mal estado entre 1 y 3 cm de espesor y de aquellos registrados que se encuentren dentro del rango de 3 a 6 cm de espesor (como se indica en los planos). Se liberará también el material disgregado entre juntas o boquillas de piezas de cantería, de cornisas y enmarcamientos de vanos. Si se identifica la presencia de flora parásita menor, se realizarán las acciones de liberación necesaria para erradicar esta afectación. Misma acción de liberación será para la pintura existente en la totalidad del muro, ya que se requiere liberar restos de pintura con diferentes tonos, grosores, tipos y además que se propone el cambio de color. En un contrafuerte se evidencia la alteración por la presencia de cables aparentes se precederá a su retiro, así mismo en otro contrafuerte se procederá con la liberación e integración (bajo aplanado) de tuberías para la conexión del medidor y mufa correspondiente. Limpiezas. Se contempla la limpieza total del muro con agua y jabón neutro para quitar los restos de pintura que no se quitaron de forma manual. También se hará limpieza en

seco y húmeda (agua limpia y jabón neutro) de superficies pétreas en las áreas de cornisa, y en enmarcamientos de vanos, para eliminar la suciedad, manchas, microorganismos o el guano de paloma existente. Para finalizar se realizará una limpieza húmeda a dos manos, únicamente en cornisas o en áreas donde las manchas no se eliminaron con la limpieza húmeda, con una solución a base de agua destilada, jabón neutro y solución de agua destilada-etanol. Se realizará limpieza de elementos de herrería y cancelería, descripción que se indica en el catálogo. Integraciones. Se harán repellados y aplanados respectivamente como se indica en los planos. La integración de emboquillados en cornisas y enmarcamientos de vanos se realizará de manera manual y cuidadosa en todas aquellas juntas entre piezas de cantería que lo requieran. Para volver a establecer una lectura y solidez continua de los elementos en cornisa se deberá resanar los elementos deteriorados y los remates no mayor a 1 dm². Se procederá con la integración de una plantilla, bruñido e impermeabilizante a base de mezcla de jabón de pan-agua y alumbre, únicamente en los tramos donde no exista plantillas. Se realizará la integración de material hidrofugante únicamente en áreas de cornisas. La integración de pintura de cal de color neutro será en la totalidad del muro, con la finalidad de fondear el muro para bajar el tono actual y homogenizar la superficie. Finalmente se integrará la pintura a la cal de un color de tonalidad clara (se propone beige).

Portada de cantería de fachada este Liberaciones. Las acciones de liberación se encaminarán de manera precisa y controlada en las juntas o boquillas entre piezas de cantería que lo requieran. A la vez se procederá al liberación y retiro de aquellas piezas de cantería que tengan una pérdida parcial y total en su estereotomía (ver plano de intervención). Limpiezas. Se harán limpieza en seco y húmeda (agua limpia y jabón neutro) de superficies pétreas para eliminar la suciedad, manchas, microorganismos o el guano de paloma existente. Para finalizar se realizará una limpieza húmeda a dos manos, únicamente en cornisas, o en áreas donde las manchas no se eliminaron con la limpieza húmeda, con una solución a base de agua destilada, jabón neutro y solución de agua destilada-etanol. Serán consolidadas con agua cal las piezas exfoliadas de bases de portada. Integración. Las acciones de integración de juntas y emboquillado se definirán en las áreas de cornisas o piezas referidas en planimetría. En aquellas piezas donde su estereometría se ve afectada ya sea parcial o totalmente se propone el cambio de pieza parcial o total de la pieza (ver plano de intervención). Se procederá con la integración de una plantilla, bruñido e impermeabilizante a base de mezcla de jabón de pan-agua y alumbre, en la totalidad del cornisamento y en aquellas áreas planas que marca el plano de intervención. Para volver a establecer una lectura continua de los elementos en cornisa se deberá resanar los elementos deteriorados y los remates no mayor a 1 dm². Se propone la aplicación de un hidrofugante únicamente en elementos de cornisa. Para evitar la presencia continua de aves se propone la integración de las barreras (malla). Frente al deterioro de la puerta de acceso de madera se propone un tratamiento integral sobre la totalidad del material.

East façade Releases. The release actions will be concrete and defined starting with the demolition of the cement mortar patches present in the areas of the walls that show their presence. At the same time, we will proceed to the controlled demolition of the plaster in bad condition between 1 and 3 cm of thickness and of those registered within the range of 3 to 6 cm of a thickness (as indicated in the plans). Disintegrated material between joints or grout of masonry pieces, cornices, and framing of openings will also be released. If the presence of minor parasitic flora is identified, the necessary release actions will be carried out to eradicate this affectation. The same action of liberation will be for the existing paint on the entire wall since it is required to release the remains of paint with different tones, thicknesses, types and also that it is proposed to change the color. In a buttress, the alteration is evidenced by the presence of apparent cables, and their removal will be preceded, likewise in another buttress, we will proceed with the liberation and integration (under flattening) of pipes for the connection of the meter and corresponding muffler. Cleaning. The wall will be completely cleaned with water and neutral soap to remove the paint that was not removed manually. Also, dry and wet cleaning (clean water and neutral soap) of stone surfaces in the cornice areas and the framing of openings will be done to remove dirt, stains, microorganisms, or existing pigeon droppings. Finally, a two-coat wet cleaning will be performed, only on cornices or in areas where stains were not removed by wet cleaning, with a solution based on distilled water, neutral soap, and distilled water-ethanol solution. Cleaning of ironwork and window and door frames will be performed, as described in the catalog. Integrations. Plastering and flattening will be done respectively as indicated in the plans.

The integration of the moldings in cornices and framing of openings will be done manually and carefully in all those joints between masonry pieces that require it. To re-establish a continuous reading and solidity of the cornice elements, the deteriorated elements, and the finishes will have to be repaired no larger than 1 dm². The integration of a stencil, burnishing, and waterproofing based on a mixture of bread-water soap and alum will be carried out, only in the sections where there are no stencils. The integration of waterproofing material will be carried out only in areas of cornices. The integration of lime paint of neutral color will be in the totality of the wall, to anchor the wall to lower the current tone and to homogenize the surface. Finally, the lime paint will be integrated into a light color tone (beige is proposed).

Masonry façade of the east façade Liberations. The release actions will be carried out in a precise and controlled manner in the joints or nozzles between masonry pieces that require it. At the same time, we will proceed to release and remove those masonry pieces that have a partial or total loss in their stereotomy (see intervention plan). Cleaning. Dry and wet cleaning (clean water and neutral soap) of stone surfaces will be done to remove dirt, stains, microorganisms, or existing pigeon guano. Finally, a two-coat wet cleaning will be performed, only on cornices, or in areas where stains were not removed by wet cleaning, with a solution based on distilled water, neutral soap, and distilled water-ethanol solution. Exfoliated pieces of cover bases will be consolidated with lime water. Integration. The actions of integration of joints and grouting will be defined in the areas of cornices or pieces referred to in planimetry. In those pieces where its stereometry is affected either partially or totally, a partial or total change of the piece is proposed (see intervention plan). We will proceed with the integration of a stencil, burnishing, and waterproofing based on a mixture of bread-water soap and alum, in the totality of the cornice and those flat areas marked on the intervention plan. To re-establish a continuous reading of the cornice elements, the deteriorated elements, and the finishing touches should be repaired in no more than 1 dm². It is proposed to apply a water repellent only on cornice elements. To avoid the continuous presence of birds, the integration of barriers (mesh) is proposed. Because of the deterioration of the wooden access door, an integral treatment of the entire material is proposed.

Fachada norte Liberaciones. Las acciones de liberación serán concretas y definidas comenzando por la demolición de los resanes de mortero de cemento presentes en las áreas de los muros que acusen su presencia. A su vez se procederá a la demolición controlada de aplanados en mal estado entre 1 y 3 cm de espesor y de aquellos registrados que se encuentren dentro del rango entre 3 y 6 cm de espesor. La misma acción de liberación se usará para la pintura existente en la totalidad del muro, ya que se requiere un cambio en la tonalidad de la integración de la nueva pintura. En aquella zona donde se identifica la presencia de flora parásita menor se realizarán las acciones de liberación necesaria para erradicar esta afectación. La alteración generada por la acción humana se revertirá con la liberación y retiro controlado y de manera manual de todo tipo de elementos metálicos, clavos, alcayatas y alambres, que se encuentren presente en el inmueble. Limpiezas. Se contempla la limpieza total del muro, con agua limpia y jabón neutro, para quitar los restos de pintura que no se eliminaron de forma manual. También se hará limpieza en seco y húmeda (agua limpia y jabón neutro) de superficies pétreas en las áreas de cornisa, y en enmarcamientos de vanos, para eliminar la suciedad, manchas, microorganismos o el guano de paloma existente. Para finalizar se realizará una limpieza húmeda a dos manos, únicamente en cornisas o en áreas donde las manchas no se eliminaron con la limpieza húmeda, con una solución a base de agua destilada, jabón neutro y solución de agua destilada-etanol. Se realizará limpieza de elementos de herrería y cancelería, descripción que se indica en el catálogo. Integraciones. Se harán repellados y aplanados respectivamente como se indica en los planos. La integración de emboquillados en cornisas y enmarcamientos de vanos se realizará de manera manual y cuidadosa en todas aquellas juntas entre piezas de cantería que lo requieran. Para volver a establecer una lectura y solidez continua de los elementos en cornisa se deberá resanar los elementos deteriorados y los remates no mayor a 1 dm². Se procederá con la integración de una plantilla, bruñido e impermeabilizante a base de mezcla de jabón de pan-agua y alumbre, únicamente en los tramos donde no exista plantilla. Se realizará la integración de material hidrofugante únicamente en áreas de cornisas. La integración de pintura de cal de color neutro será en la totalidad del muro, con la finalidad de fondear el muro para bajar el tono actual y homogenizar la superficie. Finalmente se integrará la pintura a la cal de un color de tonalidad clara (se propone beige).

Fachada oeste Liberaciones. Las acciones de liberación serán concretas y definidas comenzando por la demolición de los resanes de mortero de cemento presentes en las áreas de los muros que acusen su presencia, a su vez se procederá a la demolición controlada de aplanados en mal estado entre 1 y 3 cm de espesor y de aquellos registrados que se encuentren dentro del rango ente 3 y 6 cm de espesor. La misma acción de liberación será para la pintura existente en la totalidad del muro, ya que se requiere un cambio en la tonalidad de la integración de la nueva pintura. En aquella zona donde se identifica la presencia de flora parásita menor se realizarán las acciones de liberación necesaria para erradicar esta afectación. La alteración generada por la acción humana se revertirá con la liberación y retiro controlado y de manera manual de todo tipo de elementos metálicos, clavos, alcayatas, alambres que se encuentren presente en el inmueble. La alteración humana se revertirá con la liberación de la lámina metálica y la tubería de PVC presente en la gárgola afectada. Así mismo se procederá al desmontaje y recuperación de la estructura y lámina metálica presente en el área establecida en la planimetría. Limpiezas. Se contempla la limpieza total del muro, con agua limpia y jabón neutro, para quitar los restos de pintura que no se quitaron de forma manual. También se hará limpieza en seco y húmeda (agua limpia y jabón neutro) de superficies pétreas en las áreas de cornisa, y en enmarcamientos de vanos, para eliminar la suciedad, manchas, microorganismos o el guano de paloma existente. Para finalizar se realizará una limpieza húmeda a dos manos, únicamente en cornisas, o en áreas donde las manchas no se eliminaron con la limpieza húmeda, con una solución a base de agua destilada, jabón neutro y solución de agua destilada-etanol. Se realizará limpieza de elementos de herrería y cancelería, descripción que se indica en el catálogo. Integraciones. Se harán repellados y aplanados respectivamente como se indica en los planos. La integración de emboquillados en cornisas y enmarcamientos de vanos se realizará de manera manual y cuidadosa en todas aquellas juntas entre piezas de cantería que lo requieran. Para volver a establecer una lectura y solidez continua de los elementos en cornisa se deberá resanar los elementos deteriorados y los remates no mayor a 1 dm². Se procederá con la integración de una plantilla, bruñido e impermeabilizante a base de mezcla de jabón de pan-agua y alumbre, únicamente en los tramos donde no exista plantilla. Se realizará la integración de material hidrofugante únicamente en áreas de cornisas. La integración de pintura de cal de color neutro será en la totalidad del muro, con la finalidad de fondear el muro para bajar el tono actual y homogenizar la superficie. Finalmente se integrará la pintura a la cal de un color de tonalidad clara (se propone beige). En respuesta a la alteración por acción del hombre sobre los dos elementos correspondiente a gárgolas, se integrarán ambas gárgolas con cantera rosa de la región (ver plano de intervención y dimensiones en catálogo).

Cubiertas Liberaciones. Las acciones de liberación sobre muros serán concretas y definidas comenzando por la demolición controlada de aplanados en mal estado entre 1 y 3 cm de espesor. La liberación total por medios manuales del impermeabilizante que se encuentran sobre petatillo. Limpiezas. Se contempla la limpieza total petatillo, para retirar el resto de impermeabilizante, que no se logró sacar con la liberación manual, con agua limpia y jabón neutro. Se propone la limpieza de todas las bajadas de agua pluvial, retirando la basura y taponamientos existentes. Integraciones. Las acciones de integración de repellados y aplanados se definen en planos. Se realizarán acciones de rehabilitación de los canales y bajadas de aguas pluviales, con malla de 9 mm, ahogada en terminado de pretil, para evitar futuros deterioros por acumulación de basura o taponamiento de dichos elementos. Se propone la impermeabilización en frío con aplicación de Fester acritón 12 años, base agua de secado extra rápido. Para contribuir a la correcta instalación de la tubería eléctrica necesaria para el desarrollo del proyecto de iluminación del conjunto religioso se propone la fabricación de muertos de tabicón de 15x25x10.

Cúpula y tambor Liberaciones. Las acciones de liberación serán concretas y definidas comenzando por la demolición controlada de aplanados en mal estado entre 1 y 3 cm de espesor existente en cúpula y muros del tambor. Misma acción de liberación será para la pintura existente en la totalidad de la superficie del capulín, bóveda y muros del tambor, ya que se requiere un cambio en la tonalidad de la integración de la nueva pintura. En aquella zona donde se identifica la presencia de flora parásita menor, se realizarán las acciones de liberación necesaria para erradicar estas afectaciones, al igual que el retiro del panal existente. Limpiezas. Se contempla la limpieza total del muro, con agua limpia y jabón neutro, de bóveda de cúpula,

bóveda de cupulín y muros del tambor, con la finalidad de retirar el resto de pintura que no se logró retirar con el retiro manual. También se hará limpieza en seco y húmeda (agua limpia y jabón neutro) de superficies pétreas para eliminar la suciedad, manchas, microorganismos o el guano de paloma existente. Para finalizar se realizará una limpieza húmeda a dos manos, únicamente en cornisas, o en áreas donde las manchas no se eliminaron con la limpieza húmeda, con una solución a base de agua destilada, jabón neutro y solución de agua destilada-etanol. Integraciones. Las acciones de integración se definirán en las áreas en las cuales se deban integrar repello y aplanados respectivamente (ver planos). Se realizará la aplicación de una lechada sobre las superficies bóveda de cúpula, bóveda de cupulín para sellar y consolidar el craquelado presente en el bruñido. La integración de pintura de cal de color neutro será en la totalidad de ambas bóvedas, con la finalidad de fondear el muro para bajar el tono actual y homogenizar la superficie. Finalmente se integrará la pintura a la cal de un color de tonalidad clara, se propone beige. La integración de emboquillados se realizará de manera manual y cuidadosa en todas aquellas juntas entre piezas de cantería que lo requieran, para volver a establecer una lectura y solidez continua de los elementos en cornisa se deberá resanar los elementos deteriorados y los remates no mayor a 1 dm². Se propone la aplicación de un hidrofugante en elementos de cornisa y áreas pétreas de la linternilla donde se requiera. En estas mismas áreas se procederá con la integración de una plantilla en la totalidad del cornisamento y en aquellas áreas planas donde sea requerido se integrará un bruñido de 1 cm y a su vez se integrará la impermeabilización a base de mezcla de jabón de pan-agua y alumbre. Con la finalidad de generar acciones integrales se aplicará una mano de esmalte mate en la veleta de la linternilla y de esta manera se dignificará integralmente el elemento de la cúpula. CRUZ ATRIAL Liberaciones. Al tratarse de un elemento monolítico, las acciones de liberación deberán realizarse de manera cuidadosa y de forma manual comenzando por la demolición controlada de los resanes de diversos materiales. Limpiezas. Las limpiezas se realizarán en la totalidad del elemento, contemplando una primera acción de limpieza en seco y de forma manual de la superficie y por consiguiente una limpieza húmeda a base de agua y jabón con la finalidad de eliminar todo tipo de manchas y microorganismos presente en el elemento. Integraciones. Las acciones de integración son dirigidas a consolidación y conservación del elemento en el tiempo, por ello se establece la integración de enlucido en elementos de cantería, con la finalidad de proteger al material de la intemperización. Y se procederá con la consolidación de los elementos de cantería que presentan exfoliación.

Torre de campanario Se establece el estudio y análisis para la identificación de bancos de cantera para determinar la sustitución de elementos y solventar los criterios de restauración. Liberaciones. Las acciones de liberación se encaminarán de manera precisa y controlada en las juntas entre piezas de cantería que lo requieran, a la vez se procederá al liberación y retiro de aquellas piezas de cantería que tengan una pérdida total en su estereotomía. En aquella zona donde se identifica la presencia de flora parásita menor, se realizarán las acciones de liberación necesaria para erradicar esta afectación. Limpiezas. Las limpiezas se realizarán en la totalidad de la fachada sur del campanario, contemplando una primera acción de limpieza en seco y de forma manual en la superficie afectada, y luego una limpieza húmeda a base de agua y jabón neutro. Para finalizar se realizará una limpieza húmeda a dos manos en cornisas, o en áreas donde con la limpieza humedad no se logró quitar las manchas, con una solución a base de agua destilada, jabón neutro y solución de agua destilada-etanol con la finalidad de eliminar todo tipo de manchas, microorganismos y guano de ave presente en el elemento. Además, se proponen limpiezas de herrerías existentes en los vanos de torre y una limpieza seca en la superficie de la campana y por consiguiente una limpieza húmeda (ver catálogo) sobre la misma superficie de metal. Integraciones. Las acciones de integración se definirán en las áreas en las cuales se deban integrar repello y aplanados de 2.5 cm. Se realizará la aplicación de una lechada sobre las superficies de cupulín y cúpula para sellar y consolidar el craquelado presente en el bruñido de estos elementos. La integración de pintura de cal de color neutro será en la totalidad de ambas bóvedas, con la finalidad de fondear el muro para bajar el tono actual y homogenizar la superficie. Finalmente se integrará la pintura a la cal de un color de tonalidad clara, se propone beige. Las acciones de integración de inyección en juntas y emboquillado de 3cm de espesor se definirán en las áreas de cornisas o piezas referidas en planimetría. En aquellas piezas donde su estereometría se ve afectada totalmente se propone el cambio de total de la pieza (ver plano de intervención). Se procederá con la integración de una plantilla en la totalidad del cornisamento y en aquellas áreas planas, donde sea requerido

se integrará un bruñido de 1 cm y a su vez se integrará la impermeabilización a base de mezcla de jabón de pan-agua y alumbre. Para volver a establecer una lectura continua de los elementos en cornisa se deberá resanar los elementos deteriorados y los remates no mayor a 1 dm². Se propone la aplicación de un hidrofugante en elementos de cornisa únicamente. Para evitar la presencia continua de aves se propone la integración de las barreras con la integración de malla. Para finalizar con las acciones de intervención en todos los elementos de la torre se estipula un tratamiento al elemento de campana a base de desengrase con gasolina blanca y estopa hasta lograr la limpieza total de la pieza, y la aplicación de esmalte negro mate en la veleta que remata la linternilla.

Gárgolas Liberaciones. La alteración humana se revertirá con la liberación de la lámina metálica y la tubería de PVC presentes en la gárgola No. 19 Limpiezas. Las limpiezas se realizarán en la totalidad del elemento gárgola, contemplando una primera acción de limpieza en seco y de forma manual de la superficie afectada y por consiguiente una limpieza húmeda a base de agua y jabón neutro. Para finalizar se realizará una limpieza húmeda a dos manos con una solución a base de agua destilada, jabón neutro y solución de agua destilada-etanol con la finalidad de eliminar todo tipo de manchas, microorganismos y guano de paloma presente en el elemento. Integraciones. Finalmente se procederá con; la consolidación de los elementos de cantería con la integración agua cal en la totalidad del elemento y con la integración de bruñido al interior en forma de “u” en cada gárgola existente y nuevas con la finalidad de cerrar el poro de la cantería y evitar futuros deterioros.

North façade Releases. The liberation actions will be concrete and defined starting with the demolition of the cement mortar patches present in the areas of the walls that show their presence. At the same time, the controlled demolition of the plaster in bad condition between 1 and 3 cm of thickness and of those registered that are within the range between 3 and 6 cm of thickness will be carried out. The same action of liberation will be used for the existing paint on the entire wall since a change in the tonality of the integration of the new paint is required. In that area where the presence of minor parasitic flora is identified, the necessary release actions will be carried out to eradicate this affectation. The alteration generated by human action will be reverted with the release and controlled manual removal of all types of metallic elements, nails, nails, and wires that are present in the building. Cleaning. The total cleaning of the wall is contemplated, with clean water and neutral soap, to remove the remains of paint that were not removed manually. Also, dry and wet cleaning (clean water and neutral soap) of stone surfaces in the cornice areas, and in the framing of openings, to remove dirt, stains, microorganisms, or existing pigeon droppings. Finally, a two-coat wet cleaning will be performed, only on cornices or in areas where stains were not removed by wet cleaning, with a solution based on distilled water, neutral soap, and distilled water-ethanol solution. Cleaning of ironwork and window and door frames will be performed, as described in the catalog. Integrations. Plastering and flattening will be done respectively as indicated in the plans. The integration of the moldings in cornices and framing of openings will be done manually and carefully in all those joints between masonry pieces that require it. To re-establish a continuous reading and solidity of the cornice elements, the deteriorated elements, and the finishes will have to be repaired no larger than 1 dm². The integration of a stencil, burnishing, and waterproofing based on a mixture of bread-water soap and alum will be carried out, only in the sections where there is no stencil. The integration of waterproofing material will be carried out only in areas of cornices. The integration of lime paint of neutral color will be in the totality of the wall, to anchor the wall to lower the current tone and to homogenize the surface. Finally, the lime paint will be applied in a light color (beige is proposed).

West façade Liberations. The liberation actions will be concrete and defined, starting with the demolition of the cement mortar patches present in the areas of the walls that show their presence, and at the same time, the controlled demolition of the plaster in bad condition between 1 and 3 cm thick and those registered that are within the range between 3 and 6 cm thick will be carried out. The same action of liberation will be for the existing painting in the totality of the wall since a change in the tonality of the integration of the new painting is required. In that area where the presence of minor parasitic flora is identified, the necessary actions of liberation will be carried out to eradicate this affectation. The alteration generated by human action will be reverted with the release and controlled manual removal of all types of metallic elements, nails, nails, wires, and wires that are present on the property. The human alteration will

be reversed with the release of the metal sheet and the PVC pipe present in the affected gargoyle. Likewise, the structure and sheet metal present in the area established in the planimetry will be dismantled and recovered. Cleaning. The total cleaning of the wall is contemplated, with clean water and neutral soap, to remove the remains of paint that were not removed manually. There will also be dry and wet cleaning (clean water and neutral soap) of stone surfaces in the cornice areas, and in the framing of openings, to remove dirt, stains, microorganisms, or existing pigeon droppings. Finally, a two-coat wet cleaning will be performed, only on cornices, or in areas where stains were not removed by wet cleaning, with a solution based on distilled water, neutral soap, and distilled water-ethanol solution. Cleaning of ironwork and window and door frames will be carried out, as described in the catalog. Integrations. Plastering and flattening will be done respectively as indicated in the plans. The integration of the moldings in cornices and framing of openings will be done manually and carefully in all those joints between masonry pieces that require it. To re-establish a continuous reading and solidity of the cornice elements, the deteriorated elements, and the finishes will have to be repaired no larger than 1 dm². The integration of a stencil, burnishing, and waterproofing based on a mixture of bread-water soap and alum will be carried out, only in the sections where there is no stencil. The integration of waterproofing material will be carried out only in areas of cornices. The integration of lime paint of neutral color will be in the totality of the wall, to anchor the wall to lower the current tone and homogenize the surface. Finally, the lime paint will be integrated with a light color tone (beige is proposed). In response to the alteration by human action on the two gargoyle elements, both gargoyles will be integrated with pink quarry stone from the region (see intervention plan and dimensions in the catalog).

Roofs Releases. The actions of liberation on walls will be concrete and defined starting with the controlled demolition of flattened in bad condition between 1 and 3 cm of thickness. The total liberation by manual means of the waterproofing that are on petatillo. Cleaning. It is contemplated the total cleaning of the petatillo, to remove the rest of the waterproofing that could not be removed with the manual liberation, with clean water and neutral soap. It is proposed to clean all the rainwater downspouts, removing the garbage and existing blockages. Integrations. The actions of integration of plastering and flattening are defined in the plans. The rainwater gutters and downspouts will be rehabilitated with 9 mm mesh, saturated in the finished parapet, to prevent future deterioration due to the accumulation of trash or clogging of these elements. Cold waterproofing is proposed with the application of Fester Acriton 12 years, water-based, extra fast drying. To contribute to the correct installation of the electrical piping necessary for the development of the lighting project of the religious complex, it is proposed the fabrication of 15x25x10 partition walls.

Dome and Drum. Releases. The liberation actions will be concrete and defined, starting with the controlled demolition of the existing plaster in bad condition between 1 and 3 cm thick in the dome and walls of the drum. The same action of liberation will be for the existing painting in the totality of the surface of the cupola, vault, and walls of the drum since a change in the tonality of the integration of the new painting is required. In that area where the presence of minor parasitic flora is identified, the necessary actions of liberation will be carried out to eradicate these affectations, as well as the removal of the existing honeycomb. Cleaning. The total cleaning of the wall is contemplated, with clean water and neutral soap, of the dome vault, cupola vault, and walls of the drum, to remove the rest of the paint that could not be removed with the manual removal. There will also be dry and wet cleaning (clean water and neutral soap) of stone surfaces to remove dirt, stains, microorganisms, or existing pigeon guano. Finally, a two-hand wet cleaning will be performed, only on cornices, or in areas where stains were not removed by wet cleaning, with a solution based on distilled water, neutral soap, and distilled water-ethanol solution. Integrations. The integration actions will be defined in the areas in which plaster and flattened tiles are to be integrated respectively (see plans). Grout will be applied on the surfaces of the dome vault and cupola vault to seal and consolidate the cracking present in the burnishing. The integration of lime paint of neutral color will be in the totality of both vaults, to anchor the wall to lower the current tone and homogenize the surface. Finally, the lime paint will be integrated into a light color tone, beige is proposed. The integration of the grouting will be done manually and carefully in all those joints between pieces of stonework that require it, to re-establish a continuous reading and solidity of the elements in the cornice, the deteriorated elements, and the finishes will have to be repaired no larger than 1 dm². It is proposed the application of

a water repellent in cornice elements and stone areas of the lantern where required. In these same areas, a stencil will be applied to the entire cornice and in those flat areas where it is required, a 1 cm burnishing will be applied and waterproofing will be applied using a mixture of pan-water soap and alum. To generate integral actions, a coat of matte enamel will be applied to the weathervane of the lantern and in this way, the element of the dome will be integrally dignified. ATRIAL CROSS Releases. Since it is a monolithic element, the liberation actions must be carried out carefully and manually, starting with the controlled demolition of the resins of different materials. Cleaning. The cleanings will be carried out in the totality of the element, contemplating the first action of dry cleaning and manual form of the surface and consequently a humid cleaning based on water and soap to eliminate all types of spots and microorganisms present in the element. Integrations. The integration actions are aimed at consolidation and conservation of the element over time, therefore the integration of plaster in masonry elements is established, to protect the material from weathering. And we will proceed with the consolidation of the masonry elements that present exfoliation.

Belfry Tower

The study and analysis for the identification of quarry benches are established to determine the replacement of elements and solve the restoration criteria. Releases. The actions of liberation will be directed in a precise and controlled way in the joints between pieces of stonework that require it, at the same time will proceed to the liberation and removal of those pieces of stonework that have a total loss in its stereotomy. In that area where the presence of minor parasitic flora is identified, the necessary actions of liberation will be carried out to eradicate this affectation. Cleaning. The cleanings will be carried out on the entire south façade of the bell tower, contemplating the first action of dry cleaning and manual cleaning on the affected surface, and then a wet cleaning with water and neutral soap. Finally, a two-hand wet cleaning will be performed on cornices, or in areas where wet cleaning did not remove the stains, with a solution based on distilled water, neutral soap, and distilled water-ethanol solution to remove all types of stains, microorganisms, and bird droppings present on the element. In addition, cleaning of existing ironwork in the tower openings and dry cleaning on the surface of the bell, and consequently a wet cleaning (see catalog) on the same metal surface are proposed. Integrations. The integration actions will be defined in the areas in which 2.5 cm. plaster and flattening are to be integrated. Grout will be applied on the surfaces of the cupola and dome to seal and consolidate the craquelure present in the burnishing of these elements. The integration of neutral-colored lime paint will be applied to the entirety of both vaults, to anchor the wall to lower the current tone and homogenize the surface. Finally, the lime paint will be integrated with a light color tone, beige is proposed. The actions of integration of injection in joints and 3cm thick grouting will be defined in the areas of cornices or pieces referred to in the planimetry. In those pieces where its stereometry is affected, a total change of the piece is proposed (see intervention plan). We will proceed with the integration of a template in the totality of the cornice and in those flat areas, where it is required, we will integrate burnishing of 1 cm and at the same time, we will integrate the waterproofing based on a mixture of bread-water soap and alum. To re-establish a continuous reading of the cornice elements, the deteriorated elements, and the finishes will have to be repaired in no more than 1 dm². It is proposed to apply a water repellent on cornice elements only. To avoid the continuous presence of birds, it is proposed to integrate the barriers with mesh. To finish with the actions of intervention in all the elements of the tower, a treatment to the bell element is stipulated based on degreasing with white gasoline and tow until the total cleaning of the piece is achieved, and the application of matte black enamel on the weather vane that finishes off the lantern.

Gargoyles Liberations. The human alteration will be reverted with the liberation of the metallic sheet and the PVC pipe present in gargoyle No. 19 Cleaning. The cleanings will be carried out on the entire gargoyle element, contemplating the first action of dry and manual cleaning of the affected surface and consequently a wet cleaning with water and neutral soap. Finally, a two-hand wet cleaning will be performed with a solution based on distilled water, neutral soap, and distilled water-ethanol solution to remove all types of stains, microorganisms, and pigeon guano present on the element. Integrations. Finally, we will proceed with the consolidation of the masonry elements with the integration of lime water in the

totality of the element and with the integration of burnishing to the interior in the form of "u" in each existing and new gargoyles to close the pore of the masonry and to avoid future deteriorations.

Retos científicos para la conservación del patrimonio

El reto fundamental para la ciencia del patrimonio, como para cualquier otro sector de la ciencia, es generar beneficios a favor de la sociedad. En lo que respecta a la conservación del patrimonio cultural, la pertinencia y la eficacia de la ciencia del patrimonio dependen fundamentalmente de que se acorte la distancia entre la investigación y la práctica de la conservación para mejorar el cuidado, la comprensión y la utilización sostenible del patrimonio cultural. Esto exige la identificación adecuada de las necesidades y la capacidad de respuesta para abordarlas de nuevas maneras cuando sea necesario, pero también una colaboración eficaz entre las disciplinas y los grupos de interés, de modo que el conocimiento pertinente se desarrolle, se transfiera y se aplique en la práctica. (ICCROM, 2021)

-Correlación entre las formas de degradación, la micro estructura de los materiales y los parámetros ambientales.

-Materiales y tecnologías para mejorar el comportamiento sísmico de los edificios de mampostería sin alterar su valor estético

-Materiales sostenibles (recuperación e innovación de técnicas de construcción y materiales antiguos).

Estudio experimental de los efectos a corto y largo plazo de los consolidantes y protectores

Conclusiones

La conservación conecta a las personas en el tiempo y en el lugar a través de la conservación del Patrimonio Cultural y es el punto de partida para un futuro sostenible, formando el legado de las nuevas generaciones y establece relaciones y conexiones al permitir la supervivencia del patrimonio cultural.

De acuerdo con ICCROM, la ciencia de la conservación permite que los sistemas culturales proporcionen servicios a las personas. Permite a las personas acceder al patrimonio revelando su significado y cuidándolo, para que sobreviva y las futuras generaciones puedan disfrutarlo. Une a jóvenes y mayores, a comunidades locales y globales al ser un lugar de encuentro entre las personas y el patrimonio.

Al permitir que la gente disfrute del patrimonio, la ciencia de la conservación. La ciencia de la conservación ayuda a las personas a cuidarlo para que puedan seguir utilizándolo.

Al revelar los significados y el valor del patrimonio cultural, la ciencia de la conservación nos permite entendernos a nosotros mismos y a los demás. Al cuidar el patrimonio frente a las amenazas de los conflictos, los impactos indeseables del desarrollo o el cambio climático, la ciencia de la conservación nos ayuda a cuidar de nosotros mismos, fomentando el respeto y la confianza de los demás, al tiempo que demuestra el valor de la visión a largo plazo que permite a las personas reconstruir y sanar su sociedad.

Scientific challenges for heritage conservation

The fundamental challenge for heritage science, as for any other sector of science, is to generate benefits for society. In terms of cultural heritage conservation, the relevance and effectiveness of heritage science depend critically on bridging the gap between research and conservation practice to improve the care, understanding, and sustainable use of cultural heritage. This requires appropriate identification of needs and the responsiveness to address them in new ways where necessary, but also an effective collaboration between disciplines and stakeholders so that relevant knowledge is developed, transferred, and applied in practice. (ICCROM, 2021)

-Correlation between degradation forms, the microstructure of materials, and environmental parameters.

-Materials and technologies to improve the seismic performance of masonry buildings without altering their aesthetic value.

-Sustainable materials (recovery and innovation of old construction techniques and materials).

Experimental study of the short and long-term effects of consolidants and protectors.

Conclusions

Conservation connects people in time and place through the conservation of Cultural Heritage and is the starting point for a sustainable future, forming the legacy of new generations and establishing relationships and connections by enabling the survival of cultural heritage.

According to ICCROM, conservation science enables cultural systems to provide services to people. It allows people to access heritage by revealing its meaning and caring for it so that it survives for future generations to enjoy. It unites young and old, local and global communities by being a meeting place between people and heritage.

By enabling people to enjoy heritage, conservation science. Conservation science helps people care for it so they can continue to use it.

By revealing the meanings and value of cultural heritage, conservation science enables us to understand ourselves and others. By caring for heritage in the face of threats from conflict, undesirable impacts of development, or climate change, conservation science helps us care for ourselves, building respect and trust from others while demonstrating the value of the long-term vision that enables people to rebuild and heal their society.

Agradecimientos

M.R.S. Arq. Ma De La Luz Ávila Hernández por la coordinación general del Proyecto Ejecutivo para la dignificación del Templo de la Misericordia “El Hospitalito” en Irapuato.

M.R.S. Arq. María Pilar Vargas Salazar por su participación y colaboración en el levantamiento de deterioros de materiales del estado actual (2017) y en los levantamientos fotográficos Proyecto Ejecutivo para la dignificación del Templo de la Misericordia “El Hospitalito” en Irapuato.

M.R.S. Arq. Sandra María de Guadalupe García Ramírez por su participación y colaboración como contratista del Proyecto Ejecutivo para la dignificación del Templo de la Misericordia “El Hospitalito” en Irapuato

M.R.S. Arq. Eloisa Galván por su participación y colaboración en el levantamiento arquitectónico del inmueble del Proyecto Ejecutivo para la dignificación del Templo de la Misericordia “El Hospitalito” en Irapuato.

Financiación: El contrato para la elaboración del Proyecto ejecutivo para la dignificación del Templo de la Misericordia “El Hospitalito” en la ciudad de Irapuato fue otorgado por la Secretaría de Obra Pública (SOP) del Estado de Guanajuato, a través de la Dirección de Proyectos de Obra Civil, a la C. Sandra María de Guadalupe García Ramírez (No. de contrato SOP/RE/AM/PU/GPC/SERV/OP/2017-0174). Fue responsabilidad nuestra el coordinar y elaborar el proyecto de restauración para el que se contó con un periodo de ejecución de julio a diciembre del 2017 (150 días naturales / 5 meses). Es importante mencionar que en la elaboración del proyecto ejecutivo se tuvo en apoyo la M.R.S.M. María Pilar Vargas Salazar.

Contribuciones de los autores: Conceptualización, F.C.-F. y A.H.-MdL, Conservación de datos, A.H.-MdL. F.C.-F. y J.C.-C., Análisis formal F.C.-F.; A.H.-MdL y G-B.; Adquisición de fondos, A.H.-MdL. Metodología F.C.-F. y A.H.-MdL, G-B. y L.M.P-I; Administración del proyecto, A.H.-MdL. Recursos, SOP, Supervisión A.H.-MdL. Validación, A.H.-MdL., F.C.-F., L.M.P-I; Visualización, A.H.-MdL., F.C.-F, J.C.- C.; Redacción-borrador original, F.C.-F. y A.H.-MdL.; Redacción-revisión y edición, F.C.-F.; A.H.-MdL.G-B, J.C.-C. y L.M.P-I.

Referencias bibliográficas

Chanfón, Olmos C. (1996). Fundamentos teóricos de la restauración. México, Colección Arquitectura No. 10, Fac. de Arquitectura, UNAM, p. 139, 289, 290

Colmenero, F. Ávila, Ma. de L. Preciado, A. 2022. Manifestations of cultural and religious heritages. "The Hospitalito in Irapuato, Gto." *Esempi Di Architettura*, 2022, VOL.9, N.2. 85-95 pp. DOI: 10.53136/97912599480908 fecha de acceso:09/02/22. Disponible en: @racne – Esempi di Architettura – Revista Internacional de Arquitectura e Ingeniería (aracneeditrice.eu)

García, María, et al. (2009) Templo El Hospitalito. Casa de la Cultura. Esc. De Filosofía, Letras e Historia. Irapuato, México. P.1

ICOMOS (1994) Documento de Nara sobre autenticidad. Traducción de Valerie Magar, Magdalena Rojas Vences y Gabriela Peñuelas Guerrero. Disponible en: [convern8_06_docudenara_esp.pdf \(iccrom.org\)](#)
[Microsoft Word - GA16 Charter Interpretation 20081004 ES.doc \(icomos.org\)](#) Fecha de acceso: 10/01/22

ICCROM Forum on conservation science ICCROM (The International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property) *Studies in Conservation Supplement (vol. 2 2015)*.
Disponible en: [YSIC_I_60_S2_combined.pdf \(iccrom.org\)](#) Fecha de acceso: 19/12/2021

Sánchez Martínez, Álvarez Gasca, M Dolores Elena (2011). El papel de la Química en la restauración de monumentos. Universidad de Guanajuato. Acta Universitaria. Vol. 21 Número especial 4, Septiembre 2011

UNESCO (2007) Carta ICOMOS para Interpretación y Presentación de Sitios de Patrimonio Cultural recuperado de: [Microsoft Word - GA16 Charter Interpretation 20081004 ES.doc \(icomos.org\)](#) Fecha de acceso: 10/01/22

Terán Bonilla, J. A, (2004) Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la restauración arquitectónica. Revista Conserva No. 8, 2004. Chile.

**LA RESTAURACIÓN DE LA CATEDRAL DE BURGOS.
EL CLAUSTRO ALTO**

THE RESTORATION OF BURGOS CATHEDRAL. THE HIGH CLOISTER

Javier Garabito López

*Arquitecto Restaurador de la Catedral de Burgos. Investigador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas e Ingeniería de la Construcción y del Terreno; Universidad de Burgos; Calle Villadiego, s/n, 09001 Burgos, España. Profesor Titular de Universidad, Arquitecto por la UNAV, Doctor por la UBU. E-mail: jgarabito@ubu.es
Architect of Burgos Cathedral. Researcher in the Department of Architectural Constructions and Land and Construction Engineering; University of Burgos, Senior Lecturer, Architect from the UNAV, PhD in Architecture from the UBU. E-mail: jgarabito@ubu.es*

Abstract

Burgos Cathedral, a World Heritage site, is the first Cathedral built in the Gothic style in Spain. The construction of the two levels of the cloister was its most important expansion in the second half of the 13th century.

From 1889 architects Velázquez Bosco and Vicente Lampérez began the restoration of the Cloister, which included eliminating the addition of the third floor and underpinning and cable-stayed the buttresses. Bracing is a usual solution to avoid transverse deformations in historic buildings. A cable-stayed arch on the key, the supra-bracing, was used in the Cloister.

In 2009, restoration work of the Upper Cloister began with the consolidation of the cable-stayed system. Damaged parts were replaced and its strength and composition determined; a highly heterogeneous ferrous material with low carbon content.

Subsequently, the restoration work on the four galleries of the Cloister continued, concluding in 2015 with the restoration of the East Gallery.

We have restored the vertical walls, floors, sculptures and sepulchres, and the vaults. Likewise, the stained glass windows were restored and the lighting system was replaced.

Keywords

Restoration, Burgos Cathedral, brace, steel, cleaning methodology

Introducción

La Catedral de Santa María la Real de Burgos (imagen 1), declarada Patrimonio Mundial por la UNESCO el 31 de octubre de 1984, es la primera catedral construida en el estilo gótico en España.

Su construcción se inició en 1221, siguiendo patrones góticos franceses. Los dos niveles del claustro supusieron la ampliación más importante en la segunda mitad del siglo XIII de la Catedral de Burgos. La ornamentación arquitectónica y la escultura monumental que adornan el claustro son de la máxima riqueza y únicas en su género en esta época.

Debido al declive del terreno, el nivel superior del claustro se encuentra situado al mismo nivel que el resto de la Catedral, mientras que el piso inferior se encuentra a nivel de la Calle de la Paloma. Los 30 tramos en que se estructura están provistos de bóvedas de crucería ligeramente peraltadas.

En agosto de 1889, Ricardo Velázquez Bosco presenta una Memoria sobre el estado de la Catedral y de las obras de restauración necesarias. Su sucesor Vicente Lampérez siguió las directrices en los sucesivos proyectos parciales, entre los que se encuentra la restauración del Claustro Nuevo.

La galería baja tras la demolición de las viviendas existentes, se había alquilado a los comerciantes para la instalación de sus tenderetes y unos urinarios, para ello se destruyeron los parteluces y tracerías los cuales fueron sustituidos por cerramientos macizos y ventanales (imagen 2).

La galería alta se utilizaba como claustro procesional. Sobre ella se construyó un piso que comprometía la estabilidad del claustro provocando el desplome de las fachadas. Este problema se agravaba al estar destinado el patio central a enterramientos, con lo que el nivel se había incrementado. Velázquez (imagen 3) propuso rebajar el piso del patio, la retirada de los urinarios a un lugar más apartado, con el recalce de los cimientos, reconstruir los parteluces y las tracerías de la galería baja, reconstruir algunas bóvedas ruinosas, la colocación de tirantes metálicos, y por último demoler el cuerpo añadido reponiendo los antepechos y pináculos.

En el año 2009 se inician los trabajos de restauración del Claustro Alto, que concluyeron el año 2015 con la restauración de la última panda, Panda Este.



Imagen. 1: Catedral de Burgos, Plaza del Rey San Fernando. Image 1. Burgos Cathedral, Plaza del Rey San Fernando

Introduction

The Cathedral of Saint Mary of Burgos (image 1), declared a World Heritage site by UNESCO on October 31, 1984, is the first Cathedral built in the Gothic style in Spain. Its construction began in 1221, following French Gothic patterns.

The construction of the two levels of the Cloister was the largest expansion of Burgos Cathedral in the second half of the 13th century. The architectural ornamentation and monumental sculptures adorning the Cloister are of the highest opulence and unique of their kind at the time.

Due to the slope of the land, the upper level of the cloister is located at the same level as the rest of the Cathedral, while the lower floor is level with la Paloma Street. The 30 sections in which it is structured are fitted with slightly cambered ribbed vaults.

In August 1889, Ricardo Velázquez Bosco presented a Memorandum on the state of the Cathedral and of the restoration work necessary. His successor Vicente Lampérez followed his guidelines in successive partial projects, including the restoration of the Cloister.

The gallery floor, after the demolition of existing houses, had been rented to merchants for the installation of their stalls and some urinals, this destroyed the mullions and tracery which were replaced by solid enclosures and large windows (image 2).

The High Gallery was used as a processional cloister. On it was built a floor that compromised the stability of the cloister causing the collapse of the facades. This problem was further compounded because the central courtyard was intended for burials, which meant that the level had increased. Velazquez (image 3) proposed to lower the floor of the courtyard, the removal of the urinals to a more secluded place, underpinning the foundations, rebuild the mullions and tracery of the lower gallery, reconstruct some ruinous vaults, the placement of metal braces, and finally demolishing the added body replacing the sills and pinnacles.

In 2009 restoration work of the Upper Cloister began, which concluded in 2015 with the restoration of the last gallery, East Gallery



Imagen. 2: Claustro cuando aún contaba con el piso superior añadido y tracerías cegadas.

Image 2. Picture of the cloister when it still had the upper floor added and blind tracery

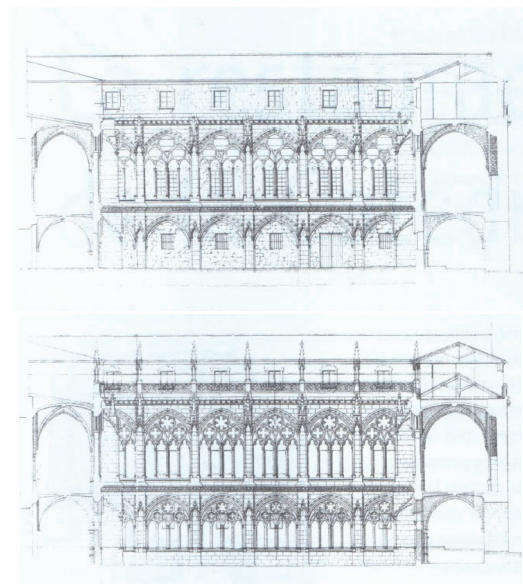


Imagen 3: Estado actual del Claustro y propuesta de intervención de Velázquez Bosco (año 1889)

Image 3. Current state of the Cloister and proposed intervention of Velázquez Bosco (year 1889)

Consolidación del sistema atirantado del Claustro

La primera intervención consistió en la consolidación del sistema de atirantado ejecutado por Lampérez. En la fase de redacción del proyecto se realizaron una serie de catas para evaluar el sistema empleado, así como su estado de conservación. Los tirantes se localizan en las cuatro pandas del claustro, imagen 4, sobre las bóvedas del Claustro Bajo, bajo el solado. Existen tres sistemas de atirantado en los tramos centrales de cada panda este y oeste, y cuatro en los tramos centrales de las pandas norte y sur, imagen 5. Cada sistema consta de dos barras acero roscadas de 30 mm de diámetro como tirantes, que abrazan a los contrafuertes del patio del Claustro mediante pletinas de bronce de 25 x 80 mm en forma de “U” (figura 6a). Las barras se anclan a los muros perimetrales con diferentes anclajes de acero (figura 6b).

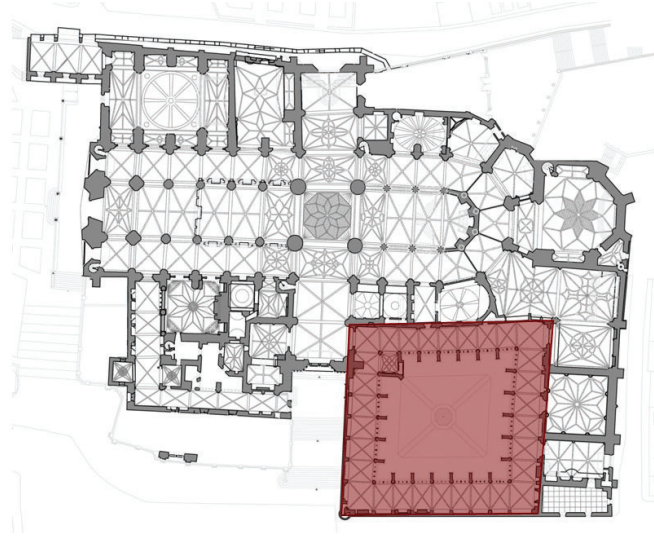


Imagen 4. Planta general de la Catedral. Ubicación del claustro. Image 4. General floor of the Cathedral. Cloister location

En la intervención se levantó la pavimentación existente para acceder a los tirantes y sus anclajes, respetando las losas de pizarra y caliza de Hontoria. Se procedió a retirar la capa de mortero de cal que recubría los tirantes, pudiendo comprobar el estado físico de los mismos. Las pletinas de cobre se encontraban en perfecto estado de conservación, por lo que fueron mantenidas en su totalidad. Muy distinto era el estado de los elementos de acero, tirantes y anclajes, con un elevado grado de oxidación, que en los tirantes había provocado la pérdida de más del 80% de la sección en algún caso. De este modo se decidió sustituir los tirantes deteriorados empleando barras roscadas de acero inoxidable de 30 mm de diámetro (figura 7a). También se reforzaron los bastidores de regulación de tensado y los elementos de anclaje, de acero, con pletinas de acero inoxidable (figura 7b).

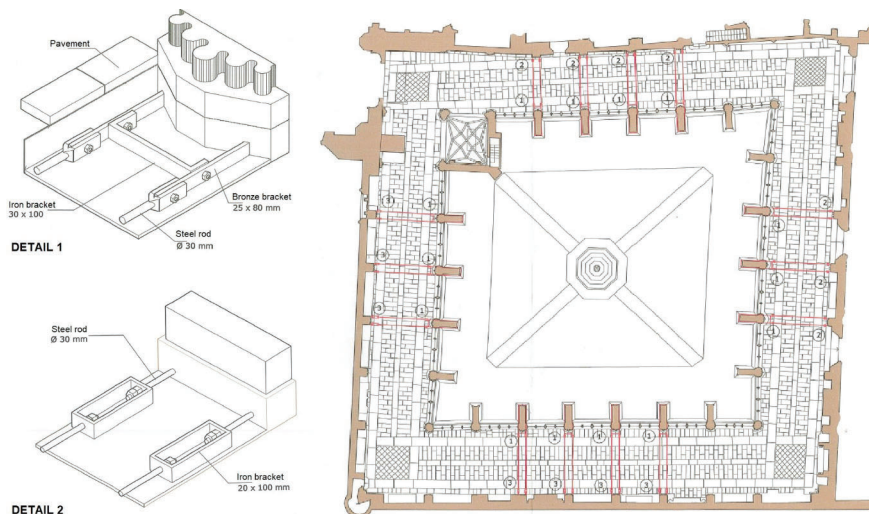


Imagen 5: Sistema de atirantado del Claustro. Image 5. Cable stayed system of the Cloister

Consolidation of the cable-stayed system of the Cloister

The first intervention consisted of consolidating the bracing system executed by Lampérez. During the drafting of the project a series of tests were conducted to evaluate the system used as well as their state of conservation.

The braces are located in the four ambulatories of the Cloister, image 4, on the vaults of the lower cloister, under the flooring. There are three cable-stayed systems in the central sections of each East and West galleries, and four in the central sections of North and South galleries, image 5.

Each system consists of two threaded steel bars 30 mm diameter as braces, which embrace the buttresses of the courtyard of the Cloister with plates of bronze 25 x 80 mm in a "U" shape (image 6a). Rods are anchored to the perimeter walls with different steel anchors (image 6b).



Imagen 6. Estado inicial del sistema de atirantado. Image 6. Initial state of the cable-stayed system

In the intervention, the existing paving was raised to access the braces and their anchors, respecting the slabs of slate and limestone from Hontoria.

We proceeded to remove the layer of lime mortar that covered the braces, and could verify the physical state of the same.

The copper plates were in a perfect state of preservation, so were maintained in their entirety. The state of the steel elements, braces and anchors was very different, with a high degree of corrosion that had caused the loss of more than 80% of the section in some cases. As such, it was decided to replace the damaged braces using threaded rods of stainless steel 30 mm in diameter (image 7a). Furthermore, it was reinforced tension regulation frames and the steel anchoring elements with stainless steel plates (image 7b).



Imagen 7. Estado final del sistema de atirantado. Image 7. Final State of the cable-stayed system

Restauración del Claustro Alto

Las lesiones más importantes que presentaba la fábrica de muros y bóvedas se debían a la acumulación de suciedad y polvo, y a la entrada puntual de agua, con la consiguiente acumulación de sales, imágenes 8 y 10. Dichas patologías suponían importantes alteraciones visuales, con la presencia de grandes manchas de humedad y pérdida de policromía en los elementos escultóricos y los sepulcros, lo que, unido a la capa de suciedad, impedía mostrar la gran calidad de los elementos arquitectónicos que forman parte del mismo.

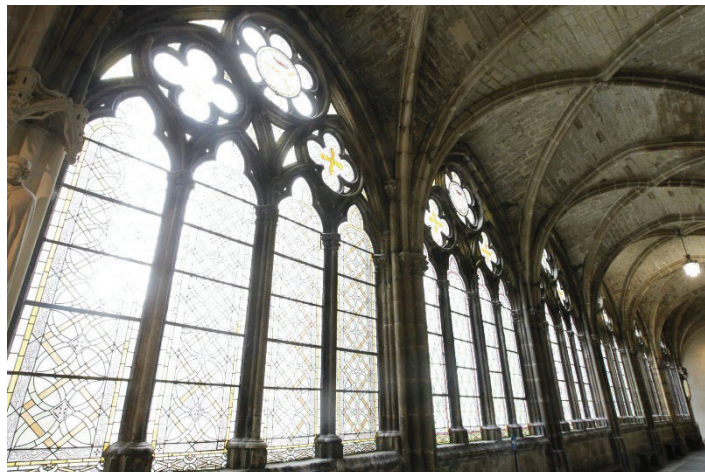


Imagen 8. Estado inicial del Claustro Alto. Image 6. Initial state of High Cloister

Por lo que respecta a las esculturas y sepulcros policromados, el estado de conservación del soporte de piedra era bueno, mientras que la capa de preparación y las policromías presentaban un estado desigual de conservación, en función del grado de humedad a que se habían visto sometidos y la acción de las sales, que había provocado desprendimientos y la oxidación de los pigmentos, oscureciendo los colores, especialmente en las carnaciones, imagen 9.



Imagen 9. Estado inicial del Claustro Alto, policromías. Image 6. Initial state of High Cloister, polychrome.

Como criterios generales de la intervención se tuvieron en cuenta el respeto a la obra, la reversibilidad de la actuación y la compatibilidad de los materiales con los originales, imagen 11.

En cuanto al proceso seguido para la restauración, distinguimos entre la fábrica de piedra vista y la que conservaba policromía.

En el primer caso, se inició con la limpieza de la piedra por procedimientos mecánicos, tanto en seco como en húmedo, que permitió la eliminación de la mayoría de los restos de suciedad, sales y depósitos superficiales. La eliminación de la costra negra y concreciones de cal se realizó mediante la proyección de microesferas de vidrio a baja presión. En las zonas altamente delicadas por su importancia o grado de alteración, se utilizó el método de desincrustación fotónica basado en la utilización del láser. Se ha realizado el retacado de las juntas, eliminando los antiguos morteros de cemento y aplicando un nuevo mortero de cal. Posteriormente, se procedió al pegado o cosido de las piezas fracturadas, completando los pequeños volúmenes que faltaban mediante mortero de restauración. Por último, se aplicó una capa de entonación general a todo el conjunto.

Restoration of the Upper Cloister

The most important injuries that the walls and vaults presented were due to the accumulation of dirt and dust, and to the occasional entry of water, with the consequent accumulation of salts, images 8 and 10. These pathologies caused important visual alterations, with the presence of large damp spots and loss of polychromy in the sculptural elements and the tombs, which, together with the layer of dirt, prevented showing the great quality of the architectural elements of the Cloister.

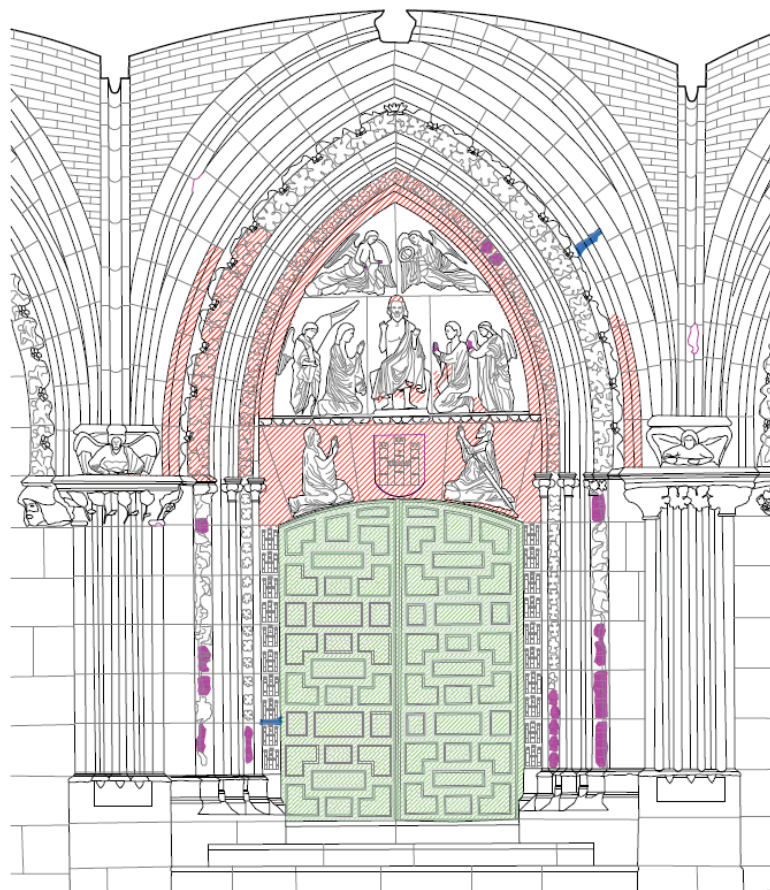


Imagen 10. Estado inicial del Claustro Alto, mapeado de lesiones. Image 6. Initial state of High Cloister, Lesion mapping

With regard to the polychrome sculptures and tombs, the state of conservation of the stone support was good, while the preparation layer and the polychromes presented an uneven state of conservation, depending on the degree of humidity and the presence of salts, which had caused detachment and oxidation of the pigments, darkening the colors, especially in the carnations, image 9.

As general criteria for the intervention, the following were taken into account: respect for the work, the reversibility of the action and the compatibility of the materials with the originals, image 11.

Regarding the process followed for the restoration, we distinguish between the stone and the stone that conserved polychrome.

In the first case, the stone was cleaned by mechanical procedures, both dry and wet, which allowed the removal of most of the remains of dirt, salts and surface deposits. The removal of the black crust and lime concretions was carried out by spraying glass microspheres at low pressure. In highly sensitive areas due to their importance or degree of alteration, the photonic descaling method based on the use of lasers was used. The grouting of the joints has been carried out, eliminating the old cement mortars and applying a new lime mortar. Subsequently, the fractured pieces were glued or sewn, completing the small volumes that were missing using restoration mortar. Finally, a general intonation layer was applied to the entire ensemble.

En cuanto a la piedra policromada, se comenzó con la eliminación manual del polvo y depósitos superficiales no adheridos, para continuar con la fijación de la capa pictórica mediante resina acrílica. Posteriormente, se realizó la limpieza de la policromía mediante procedimientos mecánicos y químicos, utilizando los disolventes adecuados en cada caso. Una vez terminada la limpieza de la capa pictórica, se aplicó una capa de separación entre la original y la reintegración cromática posterior, favoreciendo así la reversibilidad de la intervención. A continuación, se realizó la reintegración de los volúmenes perdidos y de la capa de preparación, mediante mortero de restauración los primeros y mediante sulfato de yeso hidratado la segunda, para proceder a la reintegración cromática con acuarelas donde existían faltas que impedían una lectura unitaria del conjunto. Esta reintegración cromática fue muy limitada ya que los restos de color y dorados eran muy abundantes bajo la capa de suciedad. Para finalizar, se aplicó una capa de protección con resina acrílica a todos los elementos policromados para favorecer su conservación, imagen 12. Para completar la intervención, se restauraron las vidrieras y se renovó la instalación de iluminación.



Imagen 11. Proceso de restauración del Claustro Alto. Image 11. Restoration process of High Cloister

Agradecimientos: Queremos agradecer al Cabildo Catedralicio su interés en conservar y transmitir el singular legado que representa la Catedral de Burgos, y a la Fundación Caja de Burgos, por su financiación en las intervenciones en el Claustro de la Catedral.

As for the polychrome stone, we began with the manual removal of dust and non-adhered surface deposits, to continue with the fixation of the pictorial layer using acrylic resin. Subsequently, the polychromy was cleaned using mechanical and chemical procedures, using the appropriate solvents in each case. Once the cleaning of the pictorial layer was finished, a separation layer was applied between the original and the subsequent chromatic reintegration, thus favoring the reversibility of the intervention. Next, the reintegration of the lost volumes was carried out using restoration mortar, and of the preparation layer with hydrated gypsum sulfate, to proceed with the chromatic reintegration with watercolors where there were faults that prevented a unitary reading of the whole. This chromatic reintegration was very limited since the traces of color and gold were very abundant under the layer of dirt. To finish, a protective layer of acrylic resin was applied to all the polychrome elements to facilitate their conservation, image 12. To complete the intervention, the stained glass windows were restored and the lighting installation was renewed.



Imagen 12. Estado inicial y final de la portada de acceso a la Capilla de santa Catalina. Image 12. Initial and final state of the access to the Chapel of Santa Catalina

Acknowledgments: We would like to thank the Cathedral Chapter for its interest in conserving and transmitting the unique legacy that Burgos Cathedral represents, and the Caja de Burgos Foundation, for its funding of interventions in the Cathedral Cloister.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Alonso FJ, Díaz-Pache F, Eibert RM, Interacción piedra-ambiente, 1.^a parte: formas de alteración desarrolladas sobre la piedra de la catedral de Burgos. Informes de la Construcción, 46(433) 1994, 5-18.
- Álvarez JM, Plan Director de la Catedral de Burgos, 1997.
- Álvarez JM, Garabito J, Nueva vida para el Claustro Alto, Descubrir el Arte 213, 2016.
- AA.VV. Tratado de rehabilitación. Tomo 1. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales, 1998.
- AA.VV. Manual de diagnosi i intervenció en sistemes estructurals de parets de càrrega, 1995.
- Blondel JF, Cours d'Architectue, ou traité de la decoration, distribution et construction des botiments...continue par M. Patte.
- Fiol. F, Manual de Patología y Rehabilitación, 2014.
- Garabito J, Manso JM, Rodríguez A, Garabito JC, Calderón V, Métodos para la limpieza física, química y biológica de las fábricas de piedra de monumentos históricas. El caso de San Lorenzo del Real de Burgos. Informes de la Construcción, 65 (531) 2013, 367-380.
- Heyman J, Teoría, historia y restauración de Estructuras de fábrica, 1995
- Karge H, La Catedral de Burgos y la arquitectura del siglo XIII en Francia y España, 1996.
- Payo R, La Catedral de Burgos: Ocho siglos de historia y arte, 2008.
- Rondelet JB, L'art de bâtir, 2001. (ed. Facsímil del original francés de 1843)
- Soto M, Soluciones estructurales en restauración de monumentos, 2005.

CHAPTER 4

TECHNOLOGY

CAPÍTULO 4 TECNOLOGÍA

PANDEO LATERAL DE VIGAS DE ACERO. ANÁLISIS COMPARADO DE LAS NORMAS CTE DB SE-A, EAE Y EC3

LATERAL BUCKLING OF STEEL BEAMS. COMPARED ANALYSIS OF CTE DB SE-A, EAE AND EC3 CODES

Guardiola-Villora, Arianna

*Investigadora en el Dpto. de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras (MMCyTE). Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSA). Universitat Politècnica de València (UPV). Profesora titular de Universidad del Dpto. de MMCyTE. Arquitecta (ETSA-UPV), especialidades Edificación y Urbanismo. Doctora en Arquitectura por la UPV. E-mail: aguardio@mes.upv.es
Researcher at the Dept. of Continuum Mechanics and Theory of Structures (CMM&TE). School of Architecture (SA). Universitat Politècnica de València (UPV). Associated Professor at the Dept. of CMM&TS, Architect by the SA of the UPV, specialized in Building Engineering and Urbanism. Ph.D. Architecture by the UPV. E-mail: aguardio@mes.upv.es*

Perez-Garcia, Agustin

*Investigador en el Dpto. de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras (MMCyTE). Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSA). Universitat Politècnica de València (UPV). Catedrático de Universidad del Dpto. de MMCyTE. Arquitecto por la ETSA de la UPV, especialidad Edificación. Doctor en Arquitectura por la UPV. E-mail: aperezg@mes.upv.es
Researcher at the Dept. of Continuum Mechanics and Theory of Structures (CMM&TE). School of Architecture (SA). Universitat Politècnica de València (UPV). Full Professor at the Dept. of CMM&TS, Architect by the SA of the UPV, specialized in Building Engineering. Ph.D. Architecture by the UPV. E-mail: aperezg@mes.upv.es*

Abstract

The Basic Document, Structural Safety, Steel of the Spanish Technical Building Code provides mathematical expressions to obtain the lateral buckling resistance of hot-rolled steel beams. These expressions include a coefficient, C_1 , that accounts for variation of the bending moment along the beam. However, this document only provides values for linear diagrams of bending moments.

The instruction for Structural Steel, a copy of the latest version of Eurocode 3, does not include any method to obtain the elastic critical moment. On the contrary, a table with correction factors applicable to different types of bending moment diagrams is included.

In this document both procedures have been combined and results have been compared to those obtained using other versions of the Eurocode 3. Finally, tables have been provided to ease the design of hot-rolled steel beams while preventing the lateral buckling.

Keywords

Lateral buckling; Steel Beams; Spanish steel code; CTE DB SE-A; Eurocode 3

Resumen

El Documento Básico Seguridad Estructural, Acero del Código Técnico de la Edificación proporciona fórmulas de cálculo de la resistencia a pandeo lateral de vigas de acero laminado. En dichas expresiones interviene el coeficiente C_1 que tiene en cuenta la variación del momento flector a lo largo de la viga. Sin embargo, este documento sólo proporciona valores para diagramas de momentos flectores con variación lineal.

La instrucción para Acero Estructural que reproduce la última versión del Eurocódigo 3, no indica como calcular el momento crítico de pandeo lateral en dominio elástico. Por el contrario, sí que incluye una tabla con coeficientes de corrección para varios tipos de diagramas de flectores.

En este documento se combinan ambos procedimientos y se comparan los resultados con los obtenidos utilizando otras versiones del Eurocódigo 3. Finalmente se aportan tablas que facilitan el dimensionado de vigas de acero laminado frente al pandeo lateral

Keywords

Pandeo lateral, vigas de acero, DB SE-A, EAE, Eurocódigo 3

Introducción

El Documento Básico del Código Técnico de la Edificación, CTE (2006), que regula la Seguridad de las Estructuras de Acero, DB SE-A (2007 y 2008), proporciona fórmulas para calcular el momento crítico y la resistencia de cálculo a pandeo lateral de una viga solicitada a flexión. También facilita los valores de un coeficiente, C_1 , que tiene en cuenta la distribución de momentos flectores a lo largo de la barra susceptible de colapsar por pandeo lateral. Sin embargo, sólo contempla los casos de barras sometidas a momento flector constante o a distribuciones que sólo varíen linealmente.

Por otro lado, la Instrucción de Acero Estructural, EAE (2011) y la norma UNE EN 1993-1-1 Eurocódigo 3, versión oficial en español publicada por AENOR, EC3-2013 (2013), no incluyen expresión alguna para calcular el parámetro M_{cr} denominado momento crítico elástico de pandeo lateral. No obstante, sí que proporcionan los valores de un factor corrector, k_c , que permite abordar las distribuciones de momentos flectores más frecuentes, incluidas las generadas por cargas transversales directamente aplicadas sobre la barra.

Finalmente, la versión vigente en el Reino Unido del Eurocódigo 3, EC3-UK (2014), sí que incluye una fórmula para obtener el momento crítico elástico estándar, M_{cr}^E , y, además, caracteriza los diferentes estados de carga y de sustentación utilizando tres coeficientes, C_1 , C_2 y C_3 . Estos coeficientes adoptan valores muy similares a los anteriormente propuestos en la versión previa del Eurocódigo 3, la EC3-1996 (1996).

Con objeto salvar las limitaciones detectadas en las mencionadas normas y tratar de formular una aproximación homogénea que permita caracterizar el problema del pandeo lateral y facilitar su comprobación en el mayor número posible de casos, se ha analizado la aplicación combinada de tales normas para calcular la resistencia a pandeo lateral, $M_{b,Rd}$, en el caso de barras de acero construidas con perfiles laminados de la serie IPE de acero S275.

Análisis comparado de la normativa

Los artículos 6.3.3.2 del DB SE-A, el 35.2.1 de la EAE, y el 6.3.2.1 del EC3-2013 establecen que el valor de cálculo de la resistencia frente a pandeo lateral, $M_{b,Rd}$, se podrá determinar de acuerdo con la ecuación [1]

W_y es el módulo resistente de la sección que adopta el valor del módulo plástico $W_{pl,y}$ para secciones clase 1 y 2 y el elástico $W_{el,y}$ para secciones clase 3; f_y es el límite elástico del acero, y γ_{M1} el coeficiente parcial de seguridad relativo a los fenómenos de inestabilidad, de valor 1.05. El factor de reducción de pandeo lateral, χ_{LT} , se calcula utilizando la ecuación [2]. El valor de ϕ_{LT} se obtiene de la expresión [3]. En el caso de los perfiles laminados con sección en doble T, el coeficiente de imperfección, α_{LT} , toma los valores: $\alpha_{LT} = 0.34$ si $h/b > 2$ y $\alpha_{LT} = 0.21$ si $h/b \leq 2$.

Finalmente, estas tres Normas establecen que la esbeltez adimensional frente al pandeo lateral, $\bar{\lambda}_{LT}$, se determinará según la relación de la ecuación [4], donde M_{cr} es el momento crítico elástico de pandeo lateral.

En los epígrafes siguientes se muestran los detalles del cálculo de la resistencia frente a pandeo lateral, $M_{b,Rd}$, en cada una de las normas referenciadas.

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad [1]$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1 \quad [2]$$

DB SE Acero del CTE

Según el artículo 6.3.3.3 del DB SE-A, para aquellas situaciones en las que la carga actúa sobre el eje de la barra, y los apoyos extremos tienen impedida la deformación por torsión, el momento crítico elástico de pandeo lateral (al que llamaremos M_{cr}^{CTE}) se podrá determinar según la ecuación [5]. En esta expresión $M_{LT,v}$ es la componente del momento crítico que representa la resistencia de la barra a la torsión uniforme (torsión de Saint Venant), mientras que $M_{LT,w}$ representa la resistencia de la barra

Introduction

The Basic Document of the Technical Building Code, CTE (2006), which regulates the Safety of Steel Structures, DB SE-A (2007 and 2008), provides formulae to calculate the critical moment and the design resistance to lateral buckling of a beam in bending. It also provides the values of a coefficient, C_1 , which takes into account the distribution of bending moments along the length of the member susceptible to collapse due to lateral buckling. However, it only considers the cases of members subjected to constant bending moment or only linearly varying distributions.

On the other hand, the Structural Steel Instruction, EAE (2011) and the standard UNE EN 1993-1-1 Eurocode 3, official Spanish version published by AENOR, EC3-2013 (2013), do not include any expression to calculate the M_{cr} parameter known as the elastic critical moment of lateral buckling. However, they do provide the values of a correction factor, k_c , which allows the most frequent bending moment distributions to be dealt with, including those generated by transverse loads directly applied to the member.

Finally, the current UK version of the Eurocode 3, EC3-UK (2014), does include a formula to obtain the standard elastic critical moment, M_{cr}^E , and, in addition, characterises the different load and bearing states using three coefficients, C_1 , C_2 y C_3 . These coefficients adopt very similar values to those formerly proposed in the previous version of the Eurocode 3, EC3-1996 (1996).

In order to overcome the limitations detected in the aforementioned standards and trying to formulate a homogeneous approach to characterise the lateral torsional buckling problem and to facilitate its verification in as many cases as possible, the combined application of these standards has been analysed. Then, the lateral torsional buckling resistance, $M_{b,Rd}$, in the case of steel bars designed with hot rolled steel cross-sections of the IPE series of S275 steel, have been calculated.

Comparative analysis of regulations

According to the article 6.3.3.2 of the DB SE-A, the article el 35.2.1 of the EAE, and article 6.3.2.1 of the EC3-2013, the design value of the lateral torsional buckling resistance, $M_{b,Rd}$, can be obtained using the equation [1]

W_y is the section modulus. For sections classes 1 and 2, it is the value of the plastic section modulus $W_{pl,y}$, while, for sections class 3, is equal to the elastic section modulus $W_{el,y}$; f_y is the steel yield strength, and γ_{M1} is the partial safety factor for instability phenomena, equal to 1.05. The lateral torsional buckling reduction factor, χ_{LT} , can be calculated from equation [2]. The variable ϕ_{LT} is defined in equation [3]. In the case of hot rolled sections with a I or H cross-section, the coefficient of imperfection, α_{LT} , takes the values: $\alpha_{LT} = 0.34$ if $h/b > 2$ and $\alpha_{LT} = 0.21$ if $h/b \leq 2$.

Finally, these three standards state that the non-dimensional slenderness for lateral torsional buckling, $\bar{\lambda}_{LT}$, will be determined according to the relation of equation [4], where M_{cr} is the elastic critical moment of lateral torsional buckling.

Details about the calculation of the lateral torsional buckling resistance, $M_{b,Rd}$, in each of the referenced standards are shown in the following sections.

$$\phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad [3]$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad [4]$$

$$M_{cr}^{CTE} = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} \quad [5]$$

DB SE Acero from CTE

According to article 6.3.3.3.3 of DB SE-A, for those situations where the load acts on the axis of the member, and the end supports are prevented from torsional buckling, the elastic critical moment of lateral buckling (which we will call M_{cr}^{CTE}) is given by equation [5]. In this expression, $M_{LT,v}$ is the component of the critical moment representing the resistance of the member to uniform torsion (Saint

a la torsión no uniforme (alabeo). El cálculo de ambas componentes se efectúa utilizando las ecuaciones [6] y [7].

Siendo I_t el módulo de torsión, I_z el momento de inercia de la sección respecto del eje débil, y $W_{el,y}$ el módulo resistente elástico de la sección respecto del eje fuerte. La variable $i_{f,z}$ es el radio de giro, con respecto al eje de menor inercia, de la parte de la sección transversal que comprende el ala comprimida más un tercio de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida. E y G son los módulos de elasticidad longitudinal y transversal respectivamente y L_c es la longitud de pandeo lateral (distancia entre los puntos de apoyo que impiden el pandeo lateral). Finalmente, C_1 es un factor que depende de las condiciones de sustentación y de la ley de momentos flectores que solicita a la barra. El DB SE-A sólo propone valores de C_1 para aquellos casos de tramos de barra a lo largo de los cuales el momento flector es constante o varía linealmente. En tales casos, C_1 varía entre 1.00 (momento flector constante) y 2.75 (diagrama doblemente triangular con los mismos valores en ambos extremos, pero de signo contrario).

$$M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z} \quad [6]$$

$$M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot i_{f,z}^2 \quad [7]$$

Instrucción de Acero Estructural EAE y Eurocódigo 3 (EC3-2013)

La EAE y el EC3-2013 también incluyen las expresiones [1], [2], [3] y [4], pero, a diferencia del DB SE-A, no proporcionan ninguna fórmula que permita calcular el momento crítico elástico de pandeo lateral, M_{cr} , que aparece en la ecuación [4] ni se menciona cómo tener en cuenta las condiciones de apoyo y la distribución de momentos flectores de la barra a comprobar.

Sin embargo, en el artículo 35.2.2.1 “Curvas de pandeo lateral para perfiles laminados o secciones soldadas equivalentes” de la EAE, se propone utilizar, de manera alternativa para esos tipos de sección, la ecuación [1], pero con un valor modificado del coeficiente de reducción por pandeo lateral, χ_{LT} , que ambas normas denominan $\chi_{LT,mod}$ y que ya incluiría las condiciones de sustentación y el efecto de la distribución de momentos flectores. Estas normas no mencionan el factor C_1 , sino que proponen la utilización de otro factor de corrección, k_c . Bajo este epígrafe, y antes de explicar cómo tener en cuenta el factor k_c , la EAE incluye las fórmulas [8] y [9] alternativas a las ecuaciones [2] y [3].

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1 \quad [8]$$

Obviamente, los valores de χ_{LT} y ϕ_{LT} obtenidos con las fórmulas [2] y [3] son diferentes de los obtenidos con las ecuaciones [8] y [9] ya que estos dependen del coeficiente β y de la esbeltez adimensional inicial $\bar{\lambda}_{LT,0}$. Los valores recomendados son: $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$ y $\beta = 0.75$.

El coeficiente reductor por pandeo lateral modificado, $\chi_{LT,mod}$ que se calcula con la expresión [10], tiene en cuenta no sólo los valores de χ_{LT} , y ϕ_{LT} , sino también el parámetro f que se obtiene de la ecuación [11] y que tiene en cuenta la distribución de momentos flectores a través del factor de corrección, k_c , de la Tabla 1.

Ni la EAE ni el EC3-2013 aclaran si el factor de corrección se puede aplicar al caso general calculando un coeficiente reductor por pandeo lateral modificado, $\chi_{LT,mod}$, obtenido a partir de las ecuaciones [2], [3], [10] y [11]. El hecho de que la introducción de k_c se encuentre dentro del artículo 35.2.2.1 parece indicar lo contrario.

Eurocódigo 3. UNE-ENV 1993-1-1. EC3-1996

El anexo F del EC3-1993 incluye una expresión que permite calcular el momento crítico elástico en el caso de secciones simétricas respecto del eje de menor inercia con distintas condiciones de carga, coacciones en los extremos y posición de la carga respecto del centro de esfuerzos cortantes de la sección. Dicha expresión, particularizada para secciones con doble simetría y cargas transversales aplicadas en el centro de esfuerzos cortantes, M_{cr}^{EC3} , se concreta en la de la ecuación [12].

Venant torsion), while $M_{LT,w}$ represents the resistance of the member to non-uniform torsion (warping). The calculation of both components is carried out using equations [6] and [7].

Where I_t is the modulus of torsion, I_z is the moment of inertia of the cross-section with respect to the weak axis, and W_{eby} is the elastic section modulus of the cross-section about the strong axis. The variable i_{fz} is the radius of gyration of the part of the cross-section formed by the compressed flange plus one third of the compressed area of the web adjacent to the compressed flange, about the axis of least inertia. E and G are the longitudinal and transverse modulus of elasticity respectively, and L_c is the lateral buckling length (distance between the support points that prevent lateral buckling). Finally, C_l is a factor that depends on the support conditions and the bending moment distribution. DB SE-A only proposes values of C_l for those cases of bar sections along which the bending moment is constant or varies linearly. In such cases, C_l varies between 1.00 (constant bending moment) and 2.75 (double triangular diagram with the same values at both ends, but of opposite sign).

Instrucción de Acero Estructural EAE and Eurocódigo 3 (EC3-2013)

The EAE and EC3-2013 also include the expressions [1], [2], [3] and [4], but, unlike DB SE-A, they do not provide any formula to calculate the elastic lateral buckling critical moment, M_{cr} , which appears in equation [4]. No mention about how to take into account the support conditions and the bending moment distribution of the member to be checked can be found in these codes.

However, in the article 35.2.2.1 “Curvas de pandeo lateral para perfiles laminados o secciones soldadas equivalentes” of the EAE, it is proposed to use the equation [1] for such types of cross-sections. However, a modified value of the lateral buckling reduction coefficient, χ_{LT} , is proposed by both codes. The modified coefficient, $\chi_{LT,mod}$, already includes the boundary conditions and the effect of the bending moment distribution. These standards do not mention the factor C_l . Instead, propose the use of another correction factor, k_c . In such epigraph, and before explaining how to take into account the factor k_c , the EAE includes the formulae [8] and [9] as alternatives to equations [2] and [3].

Obviously, the values of χ_{LT} and ϕ_{LT} obtained from equations [2] and [3] are different from those obtained from equations [8] and [9]. The main reason is that, in the latter case, χ_{LT} , y ϕ_{LT} depend on the coefficient β and the initial non-dimensional slenderness $\bar{\lambda}_{LT,0}$. Being the recommended values: $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$ and $\beta = 0.75$.

The modified coefficient for lateral buckling reduction, $\chi_{LT,mod}$, calculated with the equation [10], takes into account not only the values of χ_{LT} , y ϕ_{LT} , but also the parameter f which is obtained from equation [11] attending to the distribution of bending moments and the correction factor, k_c , from Table 1.

Neither the EAE nor the EC3-2013 clarify whether the correction factor can be applied to the general case by calculating a modified lateral torsional buckling reduction factor, $\chi_{LT,mod}$, obtained from equations [2], [3], [10] and [11]. The introduction of the factor k_c just in article 35.2.2.2.1 seems to indicate the opposite.

$$\phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad [9]$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \text{ siendo } \begin{cases} \chi_{LT,mod} \leq 1 \\ \chi_{LT,mod} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases} \quad [10]$$





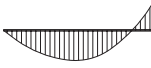


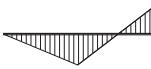
$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) \left[1 - 2(\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2 \right] \quad [11]$$

Eurocódigo 3. UNE-ENV 1993-1-1. EC3-1996

The Annex F of EC3-1993 includes an equation to calculate the elastic critical moment for symmetrical cross-sections about the axis of least inertia. That formula takes into account different loading conditions, end restraints and positions of the load from the shear centre of the cross-section. This expression particularised for cross-sections with double symmetry and transverse loads applied at the centre of shear forces is given in equation [12].

Siendo L la distancia entre los puntos de apoyo que impiden el pandeo lateral, (equivalente a L_c en la expresión del DB SE-A) e I_w el módulo de alabeo. Por otro lado, k y k_w son los coeficientes de longitud eficaz que dependen de las condiciones de enlace de las secciones extremas. El coeficiente k se refiere a la posible rotación alrededor del eje débil (z) y k_w a la posible restricción al alabeo de las secciones extremas. Sus valores varían entre 0.5 (giro/alabeo impedido en ambos extremos), 0.7 (giro/alabeo impedido en un extremo y libre en el otro) y 1.0 (giro/alabeo libre en ambos extremos). Teniendo en cuenta que en la mayor parte de las situaciones reales tan solo se consigue restringir parcialmente la rotación y el alabeo, es aconsejable adoptar, del lado de la seguridad, el valor unidad para ambos coeficientes. Finalmente, C_1 es el coeficiente que tiene en cuenta la forma del diagrama de momentos flectores. En el caso barras con rotación libre en ambos extremos y variación lineal de momentos flectores a lo largo de toda la barra, los valores de C_1 coinciden con los del DB SE-A. Además, la Tabla 2 (que se corresponde con la tabla F.1.2 del EC3-1996) proporciona valores adicionales de C_1 para algunos casos donde las cargas transversales están directamente aplicadas sobre la barra.

Tabla 1 Factor corrección k_c (EAE) Table 1 Adjusting factor k_c (EAE)

Diagrama de flectores Bending moments distribution	k_c
 $\psi = 1$	1.00
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$1/(1.33-0.33 \psi)$
	0.94
	0.90
	0.91
	0.86
	0.77
	0.82

Eurocódigo 3. UNE EN 1993-1-1. EC3 -UK

La edición para Reino Unido del Eurocódigo 3 (EC3 UK) proporciona la expresión [13] para el cálculo del momento crítico elástico estándar, M_{cr}^E , aplicable a la barra biarticulada, sección doblemente simétrica y momento flector constante.






En esta expresión, el momento crítico elástico depende del momento de inercia de la sección respecto al eje débil, I_z , de los módulos de torsión I_t y alabeo I_w , y de los módulos de elasticidad longitudinal y transversal del acero, E y G respectivamente. L es la distancia entre los puntos de la viga arriostrados lateralmente, equivalente a L_c y L en las ecuaciones [6], [7] y [12]. Para otros estados de carga, los autores del EC3-UK recomiendan, entre otras, el uso de las fórmulas propuestas por Clark (Clark-Hill 1960) y por Galéa (Galéa 1981) aplicable a la mayor parte de casos prácticos. Se ha comprobado que la ecuación [13], en el caso de una viga de sección con doble simetría y cargas transversales aplicadas en el centro de esfuerzos cortantes, coincide con la ecuación [12] del EC3-1996 sin más que hacer pequeñas modificaciones en los valores del coeficiente C_1 .

$$M_{cr}^{EC3} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} \quad [12]$$

$$M_{cr}^E = \frac{\pi}{L} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L^2 \cdot G \cdot I_t}\right)} \quad [13]$$

Where L is the distance between the support points that prevent lateral buckling, (equivalent to L_c in the expression of DB SE-A) and I_w is the warping modulus. Additionally, k and k_w are the effective length coefficients that depend on the bar's ends restraints. The coefficient k refers to the possible rotation around the weak axis (z) and k_w to the possible warping restraint of the bar's end sections. Its values vary between 0.5 (rotation/warping constrained at both ends), 0.7 (rotation/warping constrained at one end and free at the opposite end) and 1.0 (rotation/warping free at both ends). Considering that in most of the real situations, it is only possible to restrict partially rotation and warping, the safer values for both coefficients is 1.0. Finally, C_1 is the coefficient that takes into account the shape of the bending moment diagram. In the case of members with free rotation at both ends and linear variation of bending moments along the entire length of the member, the values of C_1 coincide with those of DB SE-A. In addition, Table 2 (which corresponds to Table F.1.2 of EC3-1996) provides additional values of C_1 for several cases where the transverse loads are directly applied on the member.

Tabla 2 Coeficiente C_1 (EC3-1996) Table 2 Coefficient C_1 EC3-1996)

Condiciones de carga y diagrama de flectores Load cases and bending moments distribution	k	C_1
	1.0 0.5	1.132 0.972
	1.0 0.5	1.285 0.712
	1.0 0.5	1.365 1.070
	1.0 0.5	1.565 0.938
	1.0 0.5	1.046 1.010

Eurocódigo 3. UNE EN 1993-1-1. EC3 -UK

The UK edition of Eurocode 3 (EC3 UK) provides the expression [13] for the calculation of the standard elastic critical moment, M_{cr}^E , applicable to bars where both ends are pinned, the cross-section has double symmetry, and the bending moment distribution is constant.

In this equation, the elastic critical moment depends on the moment of inertia of the section with respect to the weak axis, I_z , on the moduli of torsion I_t and warping I_w , and on the longitudinal and transverse moduli of elasticity of the steel, E and G respectively. L is the distance between laterally braced points of the beam, equivalent to L_c and L in equations [6], [7] and [12]. For other load cases, the authors of EC3-UK recommend, among others, the use of the formulas proposed by Clark (Clark-Hill 1960) and by Galéa (Galéa 1981) applicable to most practical cases. It has been verified that equation [13], in the case of a beam with a double symmetry cross-section and transverse loads applied at the shear centre, coincides with equation [12] of EC3-1996 with only minor differences in the values of the C_1 coefficient.

Results of the comparative analysis

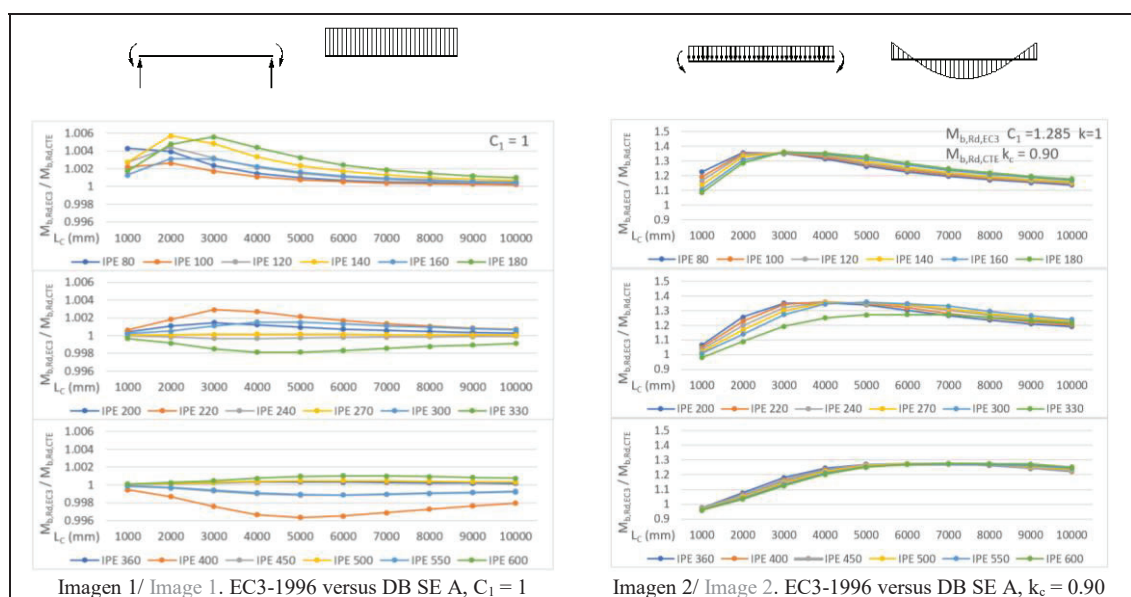
The comparative analysis shows that the lateral buckling resistance values considering a constant bending moment distribution (Image 1) calculated with the DB SE-A expressions are practically the same as those obtained from the EC3-UK and EC3-1996 formulae. Likewise, in the case of parabolic bending moment distribution with negative moments at the bar's ends (Image 2), the results still show very small differences when, again, the value of the applied coefficient C_1 was obtained using coefficient $k = 1$. The same occurs in the case of the parabolic distribution, but with zero moments at the bar's ends.

Thus, it is acceptable to apply in the formulae proposed by the DB SE-A $C_1 = 1.132$ coefficient when the moments are zero at the bar's ends, and the value of $C_1 = 1.285$ (EC3-1996) in the case of negative moments at the bar's ends.

Resultados del análisis comparado

El análisis comparado muestra que los valores de la resistencia a pandeo lateral considerando una distribución de momentos flectores constante (imagen 1) calculados con las expresiones del DB SE-A son prácticamente iguales a los proporcionados por las fórmulas del EC3-UK y EC3-1996. Así mismo, en el caso de una distribución de momentos flectores parabólica con momentos negativos en los extremos (imagen 2), los resultados siguen mostrando diferencias muy pequeñas cuando, de nuevo, el valor del coeficiente C_1 utilizado corresponde al caso de coeficiente $k = 1$. Lo mismo ocurre en el caso de la distribución parabólica, pero con momentos nulos en los extremos.

Así pues, resulta admisible aplicar en las expresiones del DB SE-A el coeficiente $C_1 = 1.132$ cuando los momentos son nulos en los extremos, y el valor de $C_1 = 1.285$ en el caso de que existan momentos negativos en los extremos. Para facilitar la aplicación práctica, se han confeccionado varias tablas con los valores del coeficiente reductor de la resistencia a pandeo lateral, χ_{LT} , para la serie de los perfiles IPE¹ de acero S275. La Tabla 3 y la Tabla 4 muestran, respectivamente, los resultados correspondientes a los casos de la imagen 1 y de la imagen 2. En estas tablas² se puede observar que el coeficiente reductor por pandeo lateral correspondiente al caso de momento constante (tabla 3) es inferior al obtenido para la distribución de flectores parabólica, correspondiendo los mayores valores a la distribución parabólica con momentos negativos en los extremos (tabla 4). En consecuencia, sería admisible utilizar en el dimensionado los valores correspondientes a la distribución de flectores constante, independientemente del estado de carga. Esta opción quedaría del lado de la seguridad.



Conclusiones

De los resultados de este análisis se deduce que es posible utilizar las comprobaciones a pandeo lateral incluidas en el DB SE-A (2007 y 2008), propuestas inicialmente para barras con distribuciones lineales de momentos flectores, junto con los coeficientes C_1 y K_1 propuestos por la versión de 1996 del Eurocódigo 3 (EC3-1996)

BIBLIOGRAFÍA (continúa en la página siguiente)

- DB SE-A. «Documento Básico, Seguridad Estructural, Acero.» *Ministerio de Vivienda* (2007 y 2008), BOE 23/10/2007 y BOE 25/01/2008.
- EAE. «Instrucción de Acero Estructural.» *Ministerio de Presidencia* (2011), BOE nº 149.

¹ Módulos de torsión y alabeo propuestos por ArcelorMittal / torsional and warping moduli values proposed by ArcelorMittal

² Para otros casos consultar / For other cases, consult: https://www.scipedia.com/public/Guardiola-Villora_et_al_2021a

To facilitate the practical application, several tables have been prepared including the values of the lateral buckling resistance coefficient, χ_{LT} . These tables have been elaborated for IPE¹ cross-section series of steel S275. Table 3 and Table 4 show, respectively, the results corresponding to the cases of image 1 and image 2. From these tables² it can be seen that the lateral buckling reduction coefficient corresponding to the constant moment case (table 3) is lower than that obtained for the parabolic bending distribution, with the highest values corresponding to the parabolic distribution with negative moments at the ends (table 4). Consequently, it would be acceptable to use the values corresponding to the constant bending moment distribution in the design, regardless of the loading state. This option would be the safest.

Tabla 3 χ_{LT} obtenido con M_{cr}^{CTE} y $C_1=1$ / Table 3 χ_{LT} obtained with M_{cr}^{CTE} and $C_1=1$

$C_1=1$	$L_c=1\text{ m}$	$L_c=2\text{ m}$	$L_c=3\text{ m}$	$L_c=4\text{ m}$	$L_c=5\text{ m}$	$L_c=6\text{ m}$	$L_c=7\text{ m}$	$L_c=8\text{ m}$	$L_c=9\text{ m}$	$L_c=10\text{ m}$
IPE 80	0.82978	0.59285	0.43294	0.33728	0.27567	0.23300	0.20177	0.17793	0.15916	0.14398
IPE 100	0.85649	0.62599	0.45790	0.35626	0.29090	0.24572	0.21270	0.18754	0.16772	0.15172
IPE 120	0.87910	0.65559	0.47809	0.37018	0.30133	0.25405	0.21964	0.19350	0.17296	0.15639
IPE 140	0.89919	0.69055	0.50463	0.38888	0.31541	0.26529	0.22901	0.20154	0.18002	0.16269
IPE 160	0.91651	0.73096	0.54243	0.41790	0.33824	0.28402	0.24489	0.21533	0.19222	0.17365
IPE 180	0.92958	0.76338	0.57483	0.44215	0.35660	0.29859	0.25693	0.22560	0.20118	0.18160
IPE 200	0.94103	0.79710	0.61814	0.47924	0.38679	0.32366	0.27830	0.24422	0.21768	0.19643
IPE 220	0.95100	0.82510	0.65646	0.51200	0.41253	0.34428	0.29535	0.25873	0.23031	0.20761
IPE 240	0.95957	0.85110	0.70088	0.55699	0.45133	0.37717	0.32362	0.28343	0.25224	0.22733
IPE 270	0.96884	0.87537	0.74011	0.59407	0.47946	0.39793	0.33931	0.29571	0.26215	0.23555
IPE 300	0.97628	0.89527	0.77759	0.63675	0.51561	0.42641	0.36186	0.31399	0.27734	0.24847
IPE 330	0.96884	0.85961	0.73082	0.60055	0.49315	0.41277	0.35334	0.30853	0.27383	0.24625
IPE 360	0.97483	0.87326	0.75349	0.62752	0.51868	0.43486	0.37208	0.32453	0.28766	0.25840
IPE 400	0.97962	0.88392	0.77122	0.64919	0.53950	0.45277	0.38703	0.33703	0.29825	0.26750
IPE 450	0.98343	0.89206	0.78423	0.66451	0.55329	0.46351	0.39491	0.34268	0.30228	0.27036
IPE 500	0.98718	0.90025	0.79809	0.68246	0.57131	0.47915	0.40775	0.35309	0.31077	0.27738
IPE 550	0.99067	0.90798	0.81174	0.70164	0.59252	0.49926	0.42559	0.36864	0.32432	0.28927
IPE 600	0.99390	0.91504	0.82410	0.71928	0.61252	0.51854	0.44282	0.38362	0.33731	0.30061

Tabla 4 χ_{LT} obtenido con M_{cr}^{CTE} y $C_1=1.285$ / Table 4 χ_{LT} obtained with M_{cr}^{CTE} and $C_1=1.285$

$C_1=1$	$L_c=1\text{ m}$	$L_c=2\text{ m}$	$L_c=3\text{ m}$	$L_c=4\text{ m}$	$L_c=5\text{ m}$	$L_c=6\text{ m}$	$L_c=7\text{ m}$	$L_c=8\text{ m}$	$L_c=9\text{ m}$	$L_c=10\text{ m}$
IPE 80	0.87001	0.68340	0.52469	0.41706	0.34420	0.29253	0.25421	0.22473	0.20137	0.18242
IPE 100	0.88972	0.71247	0.55138	0.43901	0.36242	0.30802	0.26767	0.23663	0.21204	0.19209
IPE 120	0.90665	0.73737	0.57249	0.45493	0.37482	0.31812	0.27619	0.24401	0.21855	0.19793
IPE 140	0.92198	0.76559	0.59955	0.47608	0.39146	0.33171	0.28766	0.25393	0.22731	0.20577
IPE 160	0.93548	0.79688	0.63664	0.50830	0.41818	0.35420	0.30701	0.27090	0.24243	0.21941
IPE 180	0.94588	0.82121	0.66705	0.53462	0.43940	0.37157	0.32161	0.28349	0.25349	0.22928
IPE 200	0.95514	0.84606	0.70570	0.57368	0.47373	0.40116	0.34736	0.30620	0.27379	0.24762
IPE 220	0.96332	0.86657	0.73808	0.60691	0.50240	0.42518	0.36772	0.32379	0.28924	0.26141
IPE 240	0.97045	0.88572	0.77372	0.65046	0.54442	0.46288	0.40111	0.35350	0.31593	0.28561
IPE 270	0.97826	0.90383	0.80381	0.68450	0.57391	0.48621	0.41943	0.36815	0.32792	0.29564
IPE 300	0.98459	0.91896	0.83172	0.72163	0.61050	0.51760	0.44544	0.38979	0.34620	0.31136
IPE 330	0.98105	0.89928	0.78563	0.67576	0.57527	0.49292	0.42825	0.37761	0.33741	0.30493
IPE 360	0.98627	0.90042	0.80392	0.69942	0.60014	0.51616	0.44897	0.39586	0.35354	0.31929
IPE 400	0.99045	0.90918	0.81817	0.71803	0.61995	0.53467	0.46528	0.40999	0.36579	0.33000
IPE 450	0.99378	0.91591	0.82859	0.73098	0.63285	0.54562	0.47380	0.41635	0.37044	0.33336
IPE 500	0.99707	0.92271	0.83969	0.74599	0.64945	0.56137	0.48757	0.42798	0.38018	0.34156
IPE 550	1.00000	0.92916	0.85063	0.76183	0.66861	0.58128	0.50646	0.44518	0.39563	0.35540
IPE 600	1.00000	0.93508	0.86057	0.77626	0.68633	0.60001	0.52441	0.46158	0.41032	0.36851

Conclusions

In this paper it has been proved that it is acceptable to include the coefficients C_1 and k proposed by the 1996 version of the Eurocode 3 (EC3-1996) in the lateral buckling condition initially proposed for members with linear bending moment distributions in DB SE-A (2007 and 2008)

BIBLIOGRAPHY

- EC3-1996/EC3-2013. «Eurocódigo 3: proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: reglas generales y reglas para edificación.» AENOR (1996) / AENOR (2013)
- EC3-UK. Simões da Silva L, Simões R, Gervásio H, Couchman G. «Design of Steel Structures.» European Convention for Constructional Steelwork (2014) UK Edition.
- Clark, JW, Hill NH «Lateral Buckling of Beams.» Proceedings ASCE, Journal of the Structural Division, vol 68, (1960) n° st7
- Galéa, Y «Abaques de Deversement Pour Profilés Lamines.» Construction Métallique, 4, (1981): 39-51

**BADANIA WŁAŚCIWOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH ZAPRAWY
GEOPOLIMEROWEJ JAKO INNOWACYJNEGO I EKOLOGICZNEGO
MATERIAŁU ALTERNATYWNEGO DLA ZAPRAW NA BAZIE CEMENTU
PORTLANDZKIEGO**

**RESEARCH ON STRENGTH PROPERTIES OF THE GEOPOLYMER
MORTAR AS AN INNOVATIVE AND ECO-FRIENDLY ALTERNATIVE
MATERIAL FOR PORTLAND CEMENT BASED MORTARS**

Agnieszka Kocur

*Mgr inż.; Katedra Inżynierii Budowlanej; Wydział Budownictwa; Politechnika Śląska; ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, Polska.
E-mail: agnikoc@gmail.com
MSc; Department of Structural Engineering; Faculty of Civil Engineering; Silesian University of Technology; Akademicka 5,
44-100 Gliwice, Poland. E-mail: agnikoc@gmail.com*

Szymon Dawczyński

*Dr inż.; Katedra Inżynierii Budowlanej; Wydział Budownictwa; Politechnika Śląska; ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, Polska.
E-mail: szymon.dawczynski@polsl.pl
Assistant Professor; Department of Structural Engineering; Faculty of Civil Engineering; Silesian University of Technology;
Akademicka 5, 44-100 Gliwice, Poland. E-mail: szymon.dawczynski@polsl.pl*

Abstract

This work concerns properties of geopolymer binders as an innovative, eco-alternative material for Portland cement. It refers to construction materials produced from the industrial wastes. The main aim of this study is the analysis of the geopolymer cement-based material's behaviour and efficiency as well as a general discussion of geopolymer concrete implementation in the construction industry. This work introduces the production and testing of geopolymer samples. The discussed results focus on the change in the bending and compressive strength of the material within time. These are based on laboratory tests of the mechanical properties carried out on the samples.

The geopolymer concrete mixture was made using fluidized fly ash, sodium hydroxide (NaOH) and water glass (Na₄O₄Si). From this mixture, there were 18 cuboid specimens made, which underwent the laboratory tests. Mechanical tests were carried out 1, 3, 7, 14, 21 and 28 days after the production of the samples in order to obtain a full view of changes in mechanical strength. Mechanical parameters of geopolymeric samples were determined on the basis of the uniaxial compression test and the three-point flexural test.

Based on the analysis of the obtained test results, it was found that both the compressive strength and the bending strength increased continuously throughout the experiment. In addition, geopolymer mortars are characterized by a rapid increase of initial mechanical strength. Moreover, geopolymer concrete outperforms conventional concrete regarding environmental factors - it has lower energy demand, lower carbon footprint and it contributes to viable waste management. It was concluded that geopolymer concrete and mortars have great potential for use as construction materials in many applications, and that geopolymer concrete is a viable alternative to Portland concrete.

Keywords

Geopolymer, Geopolymer binder, Alkali activated, Cement, Fly ash, Bending strength, Compressive strength

Introduction

Production of the most important building material of the 20th century - Portland cement, is associated with a significant environmental pollution and energy demand. According to (Prochoń 2018), in European Union, nearly 76% of total greenhouse gas emissions come from gas combustion in mining and industrial processes. Carbon dioxide in cement production processes is emitted from two basic direct sources: the decarbonisation of calcium carbonate and fuel combustion, and two indirect sources: production of electricity used in the cement plant and transportation. The cement industry is one of the largest emitters of greenhouse gases. According to (Uliasz-Bocheńczyk, Mokrzycki 2009) cement industry's share of global greenhouse gas emissions is 3%, which is 1.4 billion tonnes of CO₂ equivalent. Cement is obtained at a very high temperature, reaching up to 1400–1500°C and during its production, great amounts of carbon dioxide and high levels of toxic nitrogen oxides are emitted into the atmosphere. Knowing that, scientists strive to obtain alternative binders with a low carbon footprint (Prochoń 2018). One of the directions of sustainable materials' development is alkali activated binders - geopolymers. Therefore, one of the main factors of developing the technology of the inorganic polymers is the possibility of creating a reasonable alternative and substitute for Portland cement, as a leading building material.

Geopolymers technology can significantly reduce the environmental burden. It is estimated, that the synthesis of geopolymers is much less energy-consuming than the production of Portland cement and emits 4 – 8 times less carbon dioxide. Moreover, the power, mining and metallurgy industries generate huge amounts of post-process waste, which deposition can cause serious environmental problems, mainly related to soil pollution as well as ground water and underground water pollution. The production of geopolymers can be a viable alternative to the management of certain waste from the industrial sectors, including fly ash and slag. This, therefore, minimizes the environmental impact of these sectors. In this regard, it should be noted that geopolymerization may contribute to the development of the mineral industry, the use of previously undeveloped raw materials, and, at the same time, reducing environmental pollution (Mikuła et al. 2014).

Geopolymers are modern, inorganic, amorphous and synthetic polymers - aluminosilicates with specific composition and properties. Analysis and research on their properties began in the late 1970s, and the concept itself was word by J. Davidovits. Geopolymer composites are obtained by adding the alkaline activator to the pozzolanic material, while maintaining appropriate care conditions. Furthermore, the easiest way to obtain a geopolymeric binder for concrete production is the use of fly ash from coal combustion. Most geopolymer's synthesis methods are based on a process in which fragmented and dried pozzolanic material is mixed with the aqueous silicate solution, to which a base is added, for example sodium or potassium hydroxide. The resulting paste behaves like cement – it becomes hard mass within a few hours. The polymerization process is rapid, thanks to which a violent build-up in strength properties can be observed. The final strength values, for such concrete, can be even 2-3 times higher than conventional concrete (Sarapata and Witkowski 2016).

Therefore, this work concerns properties of geopolymer binders. The main aim of this study is the analysis of the geopolymer cement-based material's behaviour and efficiency, mostly regarding its mechanical properties. For the purpose of this research there were 18 geopolymer mortar cuboid specimens made. All specimens were tested for compressive strength and bending strength in order to check their mechanical behaviour and efficiency. Geopolymer concrete technology is still a relatively novel topic in the science area and there is no official standard, which involves these materials and the exact methodology of fabricating geopolymer binders. Therefore, the methodology applied in this research was based on the procedure found and usually used at the Silesian University of Technology in Gliwice, Poland.

Introduction

Produkcja najważniejszego materiału budowlanego XX wieku - cementu portlandzkiego wiąże się ze znacznym zanieczyszczeniem środowiska i zapotrzebowaniem na energię. Według (Prochoń 2018) w Unii Europejskiej blisko 76% całkowitej emisji gazów cieplarnianych pochodzi ze spalania gazów w procesach górniczych i przemysłowych. Dwutlenek węgla w procesach produkcji cementu emitowany jest z dwóch podstawowych źródeł bezpośrednich: dekarbonizacji węgla wapnia i spalania paliw oraz dwóch pośrednich: produkcji energii elektrycznej używanej w cementowni oraz transportu. Przemysł cementowy jest jednym z największych emitentów gazów cieplarnianych. Według (Uliasz-Bocheńczyk, Mokrzycki 2009) udział przemysłu cementowego w globalnej emisji gazów cieplarnianych wynosi 3%, czyli 1,4 mld ton ekwiwalentu CO₂. Cement pozyskiwany jest w bardzo wysokiej temperaturze dochodzącej do 1400–1500°C i podczas jego produkcji do atmosfery emitowane są duże ilości dwutlenku węgla oraz duże ilości toksycznych tlenków azotu. Wiedząc o tym, naukowcy dążą do uzyskania alternatywnych spoiw o niskim śladzie węglowym (Prochoń 2018). Jednym z kierunków zrównoważonego rozwoju materiałów są spoiwa aktywowane alkaliami - geopolimery. Dlatego jednym z głównych czynników rozwoju technologii polimerów nieorganicznych jest możliwość stworzenia rozsądnej alternatywy i substytutu cementu portlandzkiego, jako wiodącego materiału budowlanego.

Technologia geopolimerów może znacznie zmniejszyć obciążenie środowiska. Szacuje się, że synteza geopolimerów jest znacznie mniej energochłonna niż produkcja cementu portlandzkiego i emituje 4 - 8 razy mniej dwutlenku węgla. Ponadto energetyka, górnictwo i hutnictwo generują ogromne ilości odpadów poprocesowych, których depozycja może powodować poważne problemy środowiskowe, związane głównie z zanieczyszczeniem gleby oraz wód gruntowych i podziemnych. Produkcja geopolimerów może stanowić realną alternatywę dla gospodarowania niektórymi odpadami z sektorów przemysłowych, w tym popiołem lotnym i żużlem. Dlatego minimalizuje to wpływ tych sektorów na środowisko. W tym zakresie należy zauważyć, że geopolimeryzacja może przyczynić się do rozwoju przemysłu mineralnego, wykorzystania wcześniej niezagospodarowanych surowców, a tym samym do zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska (Mikuła et al. 2014).

Geopolimery to nowoczesne, nieorganiczne, amorficzne i syntetyczne polimery – dokładniej, glinokrzemiany o specyficznym składzie i właściwościach. Analiza i badania ich właściwości rozpoczęły się pod koniec lat 70. XX wieku, a ich koncepcja została sformułowana przez Profesora J. Davidovitsa. Kompozyty geopolimerowe uzyskuje się poprzez dodanie do materiału pucolanowego aktywatora alkalicznego przy zachowaniu odpowiednich warunków pielęgnacyjnych. Ponadto najłatwiejszym sposobem uzyskania spoiwa geopolimerowego do produkcji betonu jest zastosowanie popiołu lotnego ze spalania węgla. Większość metod syntezy geopolimerów opiera się na procesie, w którym rozdrobniony i wysuszony materiał pucolanowy miesza się z wodnym roztworem krzemianu, do którego dodaje się zasadę, na przykład wodorotlenek sodu lub potasu. Powstała mieszanka zachowuje się jak cement - w ciągu kilku godzin staje się twardą masą. Proces polimeryzacji jest szybki, dzięki czemu można zaobserwować gwałtowny wzrost właściwości wytrzymałościowych. Ostateczne wartości wytrzymałości dla takiego betonu mogą być nawet 2-3 razy wyższe niż dla betonu konwencjonalnego (Sarapata and Witkowski 2016).

Niniejsza praca dotyczy właściwości spoiw geopolimerowych. Głównym celem tego badania jest analiza zachowania i wydajności materiału na bazie cementu geopolimerowego, głównie w odniesieniu do jego właściwości mechanicznych. Na potrzebę badań wykonano 18 prostopadłościennych próbek ze spoiwa geopolimerowego. Wszystkie próbki zostały przebadane pod kątem wytrzymałości na ściskanie i zginanie w celu sprawdzenia ich właściwości mechanicznych i skuteczności. Technologia betonu geopolimerowego jest wciąż stosunkowo nowatorskim tematem w dziedzinie nauki i nie ma oficjalnego standardu, który obejmowałby te materiały i dokładną metodologię wytwarzania spoiw geopolimerowych. Dlatego metodologia zastosowana w tych badaniach została oparta na procedurze opracowanej i stosowanej na Politechnice Śląskiej w Gliwicach.

Experimental plan

Materials

The geopolymer binder mixture was made using a precursor - fluidized fly ash and an activator - sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate ($\text{Na}_4\text{O}_4\text{Si}$), which after further combining gave 10 mole sodium hydroxide mixture. The materials are shown in the Figure 1. Fly ash, as a by-product of brown coal combustion, was sourced from the Polish power plant. There were 18 cuboid specimens made. All of them were identical and contained the same quantities and proportions of materials. The composition of the mixture is shown in the Table 1 and fly ash composition is shown in Table 2.

Composition of the non-cement mixture for every 6 specimens			
Name of the material	Fly ash	Sodium silicate ($\text{Na}_4\text{O}_4\text{Si}$)	Sodium hydroxide (NaOH)
Quantity [g]	1539,50	879,71	586,48
Percentage in the whole mixture	51%	29%	20%

Table 1. The mixture composition/ Tabela 1. Kompozycja mieszanki

Atomic composition of fly ash									
Name of the element	O	C	Ca	S	Si	Al	Mg	F	Fe
Atomic %	55.02	14.61	7.98	7.34	6.07	5.24	1.39	1.25	1.09

Table 2. Chemical composition of fly ash/ Tabela 2. Chemiczna kompozycja popiołu lotnego



Figure 1. Left- a precursor, right- an activator/ Rysunek 1. Po lewej - prekursor, po prawej - aktywator

Methodology

The process of specimens' fabrication was performed in the following steps:

1. Assembling the mould for specimens - this step required to be executed at the very beginning, to be ready to use and pour the mixture inside it right after finishing the realisation of the mixture, because it tends to bind really fast.
2. Mixture preparation - combining precursor with activator.
3. Placing the mixture in the mould and covering it with a foil-wrapped board in order to protect the mixture from any possible external influence.
4. Placing specimens in the oven for curing for 24 hours in 40°C.
5. Specimens disassembly and storing them in room temperature, until the examination.

The process explained above is shown in the pictures below.



Figure 2. 1 - A Plexiglass mould, 2 - The mixture, 3 - The mixture placed in the mould/
Rysunek 2. 1 - Forma z Plexiglass, 2 - Mieszanka, 3 - Mieszanka w formie

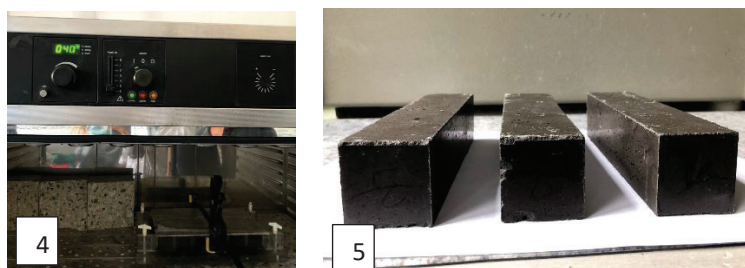


Figure 3. 4 - Specimens in the oven – samples' heating, 5 - Finished specimens
Rysunek 3. 4 - Wygrzewanie próbek, 5 - Gotowe próbki

Plan badania

Materialy

Do sporządzenia mieszaniny spoiwa geopolimerowego użyto prekursora - fluidalnego popiołu lotnego i aktywatora - wodorotlenku sodu (NaOH) i szkła wodnego ($\text{Na}_4\text{O}_4\text{Si}$), które po dalszym połączeniu dały 10 molową mieszaninę wodorotlenku sodu. Materiały przedstawiono na Rysunku 1. Popiół lotny jako produkt uboczny spalania węgla brunatnego, pochodzi z polskiej elektrowni. Wykonano 18 próbek w kształcie prostopadłościanu. Wszystkie były identyczne i zawierały te same ilości i proporcje materiałów. Skład mieszanki przedstawiono w Tabeli 1, a skład popiołu lotnego w Tabeli 2.

Metodologia

Proces wytwarzania próbek przebiegał w następujących etapach:

1. Montaż formy na próbki - ten krok wymagał wykonania na samym początku, aby forma była gotowa do użycia zaraz po zakończeniu wykonywania mieszanki, ponieważ geopolimerowa mieszanka ma tendencję do bardzo szybkiego wiązania.
2. Przygotowanie mieszanki - połączenie prekursora z aktywatorem.
3. Umieszczenie mieszanki w formie i szczelne owinięcie formy folią w celu ochrony mieszanki przed jakimkolwiek wpływem zewnętrznym.
4. Umieszczenie próbek w piecu i wygrzewanie przez 24 godziny w 40°C .
5. Rozformowanie próbek i przechowywanie ich w temperaturze pokojowej do czasu badania.

Proces wyjaśniony powyżej pokazano na Rysunkach 1 i 2.

Mechanical testing of specimens

Mechanical tests were carried out on the specimens to check how their bending and compressive strength change in time. They were executed after 1, 3, 7, 14, 21 and 28 days after their fabrication. Each time, a group of 3 specimens was examined. Mechanical parameters of geopolymeric samples were determined on the basis of the uniaxial compression test and the three-point flexural test. The specimens' dimensions for tests were: 40x40x160 mm – bending and 40x40x80 mm - compressive.

Bending strength test:

In the bending strength test the specimen was subjected to bending increasing load, to be destroyed. Test speed of the load acting on the specimen was set as a constantly increasing load of 50 N/s.

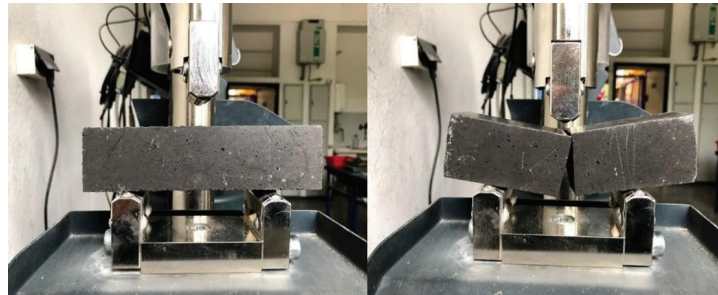


Figure 4. The specimen during the bending strength test. Left – before starting the test, right – after failure of the specimen
Rysunek 4. Próbkę podczas testu wytrzymałości na zginanie. Po lewej - przed rozpoczęciem badania, po prawej - po zniszczeniu próbki

The bending strength value was calculated using the formula [1] presented below, by applying the value of the destructive force determined from the machine.

$$f = 1,5 * \left(\frac{F * l}{d1 * d2} \right) \quad [1]$$

Where:

f - bending tensile strength of specimen [MPa],

F - maximum load in the bending test [kN],

l - beam support spacing [mm],

d1, d2 - dimensions of the sample cross-section (width, height) [mm].

Compressive strength test:

Compressive strength test was carried out on the portions of prisms previously broken - two parts of each specimen were tested. The specimens were subjected to compressive increasing load, to be destroyed. Test speed of the load acting on the specimen was set as constantly increasing load of 2400 N/s.



Figure 5. The specimen during the compressive strength test. Left – before starting the test, right – after failure of the specimen
Rysunek 5. Próbkę podczas testu wytrzymałości na ściskanie. Po lewej - przed rozpoczęciem badania, po prawej - po zniszczeniu próbki

Following the same rule as in the bending strength test – the final value of the compressive strength of the specimen, was calculated applying the value of the destructive force determined by the machine to the following formula [2].

$$f = \frac{F}{b*d} \quad [2]$$

Where:

F - value of the destructive force [N],

b*d - dimensions of the sample cross-section [mm]

Badania mechaniczne próbek

Na próbkach przeprowadzono badania wytrzymałościowe, aby sprawdzić, jak zmienia się ich wytrzymałość na zginanie i ściskanie w czasie. Próbki badano po 1, 3, 7, 14, 21 i 28 dniach od ich wytworzenia. Każdorazowo badano grupę 3 próbek. Parametry mechaniczne próbek geopolimerowych określono na podstawie testu jednoosiowego ściskania oraz próby trójpunktowego zginania. Wymiary próbek do badań wynosiły odpowiednio: 40x40x160 mm - zginanie i 40x40x80 mm – ściskanie.

Badanie wytrzymałości na zginanie:

W teście wytrzymałości na zginanie próbkę poddano rosnącemu obciążeniu w celu jej zniszczenia. Przyrost prędkości obciążenia działającego na próbkę był stały i wynosił 50 N/s.

Wartość wytrzymałości na zginanie obliczono z poniższego wzoru [1], stosując wartość siły niszczącej odczytaną z maszyny wytrzymałościowej.

$$f = 1,5 * \left(\frac{F * l}{d1 * d2} \right) \quad [1]$$

Gdzie:

f - wytrzymałość na zginanie próbki [MPa],

F – siła niszcząca w próbie zginania [kN],

l - rozstaw podpór belek [mm],

d1 i d2 - wymiary przekroju próbki (szerokość, wysokość) [mm].

Badanie wytrzymałości na ściskanie:

Badanie wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono na fragmentach próbek uprzednio złamanych - przebadano dwie części każdej próbki. Próbki poddano rosnącemu obciążeniu ścisającemu w celu jej zniszczenia. Przyrost prędkości obciążenia działającego na próbkę wynosił 2400 N/s.

Zgodnie z tą samą zasadą, co w badaniu wytrzymałości na zginanie - ostateczną wartość wytrzymałości na ściskanie próbki obliczono podstawiając wartość siły niszczącej odczytanej z maszyny wytrzymałościowej do następującego wzoru [2].

$$f = \frac{F}{b*d} \quad [2]$$

Gdzie:

f – wytrzymałość próbki na ściskanie [MPa]

F - wartość siły niszczącej [N],

b, d - wymiary przekroju próbki [mm]

Results / Wyniki

Bending strength test results / Wyniki badania wytrzymałości na zginanie

Averaged results of bending strength test	
Days	Bending strength [MPa]
1	1,128
3	1,706
7	1,915
21	2,004
28	2,201

Table 3. Bending strength results / Tabela 3. Wyniki badania wytrzymałości na zginanie

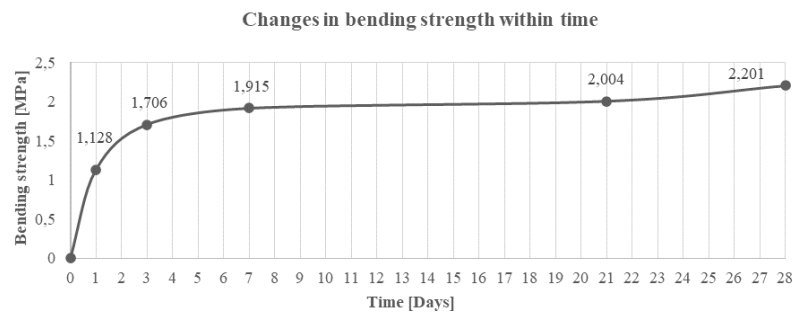


Figure 6. Changes in the bending strength / Rysunek 6. Zmiany w wytrzymałości na zginanie

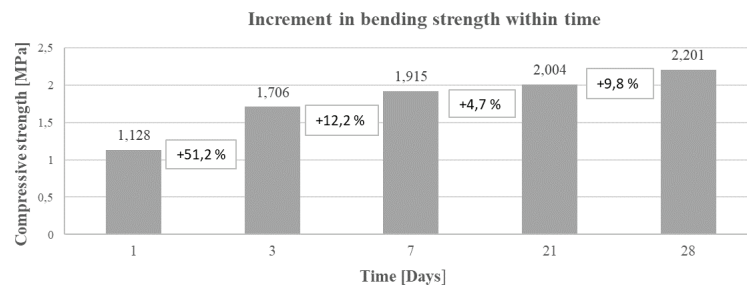


Figure 7. Percentage growth in the bending strength / Rysunek 7. Procentowy wzrost wytrzymałości na zginanie

Compressive strength test results / Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie

Averaged results of compressive strength test	
Days	Compressive strength [MPa]
1	12,684
3	13,367
7	22,093
14	25,698

Table 4. Compressive strength results / Tabela 4. Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie

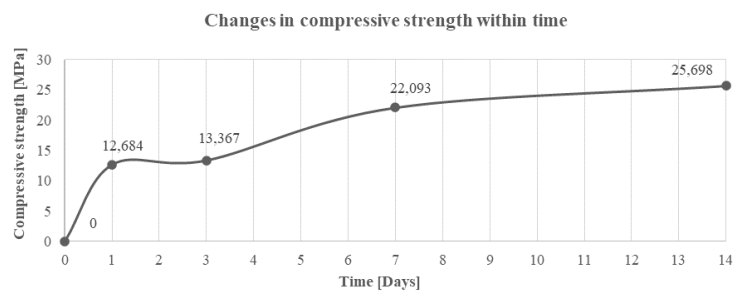


Figure 8. Changes in the compressive strength / Rysunek 8. Zmiany w wytrzymałości na ściskanie

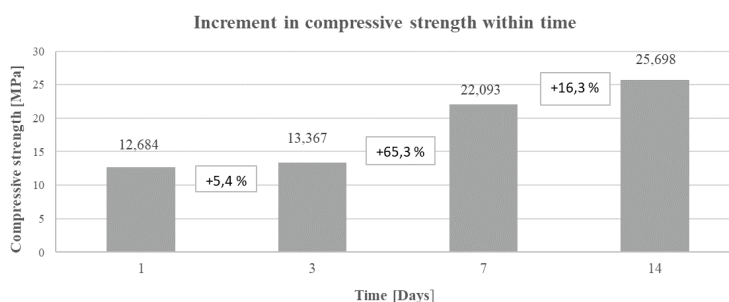


Figure 9. Percentage growth in the compressive strength / Rysunek 9. Procentowy wzrost wytrzymałości na ściskanie

Relationship between bending and compressive strength / Zależność między wytrzymałością na zginanie i ściskanie

Relationship between bending and compressive strength			
Days	Bending strength [MPa]	Compressive strength [MPa]	Ratio
1	1,128	12,684	0,09
3	1,706	12,437	0,14
7	1,915	22,093	0,09

Table 5. Comparison of strengths / Tabela 5. Porównanie wytrzymałości

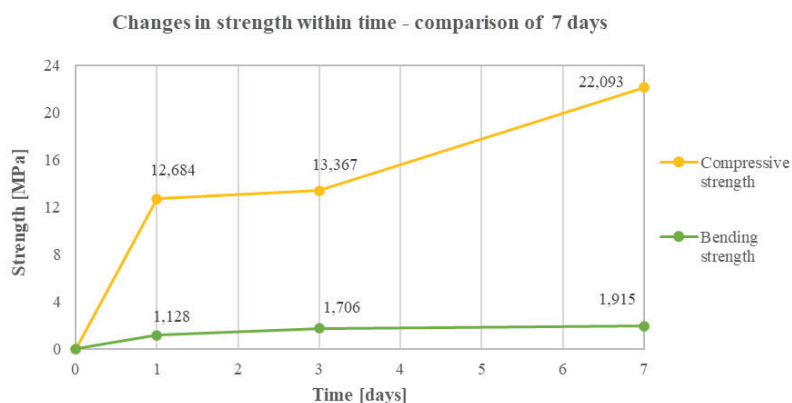


Figure 10. Comparison of strengths / Rysunek 10. Porównanie wytrzymałości

Concluding remarks:

Based on the analysis of the obtained test results, it can be concluded that:

- Generally, both compressive and bending strength were increasing throughout the experiment.
- Bending strength increased abruptly in the first seven days, remained almost constant between days 8 and 21, then grew again gradually towards the end of the experiment.
- The most significant growth in the bending strength occurred in the first 3 days and the smallest between 7th and 21st day.
- Compressive strength increased sharply on the first day and between days 4 and 7, with a less dramatic growth in the remaining periods.
- The most significant growth in compressive strength occurred between days 4 and 7 and the smallest between 1st and 3rd day.
- There was constant mutual growth in strength in overall and the ratio of the bending to compressive strength was always around 10%, however, with no particular relationship between the ratio and time.

Uwagi końcowe:

Na podstawie analizy uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że:

- Generalnie podczas eksperymentu wzrastała zarówno wytrzymałość na ściskanie, jak i na zginanie.
- Wytrzymałość na zginanie rosła gwałtownie w ciągu pierwszych siedmiu dni, pozostała prawie stała między 8 a 21 dniem, a następnie ponownie stopniowo rosła pod koniec eksperymentu.
- Najbardziej znaczący wzrost wytrzymałości na zginanie wystąpił w pierwszych 3 dniach, a najmniejszy między 7 a 21 dniem.
- Wytrzymałość na ściskanie gwałtownie wzrosła w pierwszym dniu oraz między dniem 4 a 7, z mniej gwałtownym wzrostem w pozostałych okresach.
- Najbardziej znaczący wzrost wytrzymałości na ściskanie wystąpił między 4 a 7 dniem, a najmniejszy między 1 a 3 dniem.
- Występował stały wzajemny wzrost ogólnej wytrzymałości, a stosunek wytrzymałości na zginanie do wytrzymałości na ściskanie zawsze wynosił około 10%, jednak bez szczególnej zależności między tym stosunkiem a czasem.

Conclusions

The results obtained on the tested samples confirmed the literature statements. A continuous increase in mechanical strength was observed within 28 days. Apart from that, a very fast increase in compressive and bending strength in the first days after the sample manufacturing was observed. The samples followed typical geopolymers cement-based concrete behaviour, which consists of obtaining half the strength observed after 28 days just after 24 hours and almost full strength already after 7 days from their fabrication. These observations support the assumption that geopolymers concrete could be used in applications where early strength is required.

This study can also attest that geopolymers concretes evince high compressive strength. In addition, its fast hardening ability and simplicity of factory curing make it a suitable substitute for conventional concrete in the industries that utilize precast technology.

The fact that the samples were manufactured with industrial waste - fluidized fly ash as a by-product from lignite combustion - is very relevant. The phenomenon contributes to the confirmation of the ability to fabricate a conventional concrete-alike with better environmental influence, less energy demand and contribution to viable waste management. Geopolymers concrete outperforms conventional concrete in the topics mentioned above.

According to some literature data, not all fly ashes have the appropriate properties which allow the formation of a cementless binders. The degree of suitability of ashes is related to the content of active ingredients that, under the influence of the alkaline activator, become the desired solution. This research affirms that the fly ash, used in the experiment conducted in this study, is a suitable material for manufacturing a cementless binder. This paper also supports the statement that alkaline activation of fly ash allows us to obtain a geopolymers binder characterized by high strength.

Generally, it is concluded that geopolymers concrete has great potential to be used as a construction material in multiple applications. Basing on this work and available literature, it can be stated, that geopolymers concrete is a viable alternative to Portland cement concrete.

Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań wytrzymałościowych są zgodne z opisami, które można znaleźć w literaturze przedmiotu. W ciągu 28 dni obserwowano ciągły wzrost właściwości mechanicznych. Poza tym zaobserwowano bardzo szybki wzrost wytrzymałości na ściskanie i zginanie w pierwszych dniach po wyprodukowaniu próbek. Próbkę zachowywały się zgodnie z typowym zachowaniem betonu na bazie cementu geopolimerowego, polegającym na uzyskaniu połowy wytrzymałości obserwowanej po 28 dniach już po 24 godzinach i prawie pełnej wytrzymałości już po 7 dniach od ich wytworzenia. Obserwacje te potwierdzają założenie, że beton geopolimerowy mógłby być stosowany w przypadkach, w których wymagana jest wysoka wytrzymałość wczesna.

To badanie może również potwierdzić, że betony geopolimerowe wykazują wysoką wytrzymałość na ściskanie. Ponadto jego szybkie wiązanie i prostota fabrycznego utwardzania sprawiają, że jest on odpowiednim substytutem konwencjonalnego betonu w branżach wykorzystujących technologię prefabrykatów.

Fakt, że próbki zostały wyprodukowane z odpadów przemysłowych - fluidalnego popiołu lotnego jako produktu ubocznego spalania węgla brunatnego - jest bardzo istotny. Zjawisko to przyczynia się do potwierdzenia zdolności wytwarzania bezcementowego materiału, podobnego do konwencjonalnego betonu, ograniczając negatywny wpływ na środowisko, z mniejszym zapotrzebowaniem na energię i wkładem w opłacalne gospodarowanie odpadami. Beton geopolimerowy przewyższa klasyczny beton w wyżej wymienionych tematach.

Według niektórych danych literaturowych, nie wszystkie popioły lotne mają odpowiednie właściwości, które pozwalają na tworzenie bezcementowych spoiw. Stopień przydatności popiołów zależy od zawartości składników aktywnych, które pod wpływem alkalicznego aktywatora stają się pożądanym roztworem. Badania wykonane w niniejszej pracy potwierdzają, że popiół lotny użyty w przeprowadzonym eksperymencie jest odpowiednim materiałem do produkcji spoiwa bezcementowego. Potwierdzono również stwierdzenie, że alkaliczna aktywacja popiołu lotnego pozwala na uzyskanie spoiwa geopolimerowego charakteryzującego się dużą wytrzymałością.

Ogólnie stwierdza się, że beton oraz zaprawy geopolimerowe mają duży potencjał do bycia wykorzystywanymi jako materiały konstrukcyjne w wielu zastosowaniach. Bazując na wynikach tej pracy i dostępnej literaturze, można stwierdzić, że beton geopolimerowy jest realną alternatywą dla betonu na bazie cementu portlandzkiego.

BIBLIOGRAPHY / BIBLIOGRAFIA

- PN-EN 1015-11:2001/A1 Metody badań zapraw do murów. Część 11: Określenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie stwardniałej zaprawy
- PN-EN 196-1:2016-07 Metody badania cementu. Część 1: Oznaczanie wytrzymałości
- Sarapata B., Witkowski K. «Synteza Materiałów aktywowanych alkalicznie na bazie popiołów lotnych» (2016)
- Jędrzej Prochoń P.J «Popularnonaukowe streszczenie projektu» 2018/31/N/ST8/02276 (2018)
- Mięka J. et al. «Rozwiązania proekologiczne w zakresie produkcji» *Nowoczesne materiały przyjazne środowisku*, Politechnika Krakowska (2014)
- Uliasz-Bocheńczyk, Mokrzycki «Alternative fuels derived from waste for the cement industry» *Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk* (2009)

LA STAZIONE TOLEDO DELLA METROPOLITANA DI NAPOLI, ITALIA: ARCHITETTURA, COSTRUZIONE, MATERIALI

THE TOLEDO STATION OF THE UNDERGROUND METRO STATION OF NAPLES, ITALY: ARCHITECTURE, CONSTRUCTION, MATERIALS

Enrico Sicignano

Architetto; Professore Ordinario di Architettura Tecnica e di Architettura e Composizione Architettonica al Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Salerno; Componente del Collegio del Dottorato in "Rischio e sostenibilità nei sistemi dell'ingegneria civile, edile ed ambientale". E-mail: e.sicignano@unisa.it

Architect; Full Professor of Technical Architecture and of Architecture and Architectural Composition at the Department of Civil Engineering of the University of Salerno; Member of the Doctorate College in "Risk and Sustainability in Civil, Construction and Environmental Engineering Systems". E-mail: e.sicignano@unisa.it

Pierfrancesco Fiore

Architetto; Professore Associato di Architettura Tecnica al Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Salerno; Dottore di Ricerca in "Ingegneria delle strutture e del recupero edilizio e urbano". E-mail: pfiore@unisa.it

Architect; Associate Professor of Technical Architecture at the Department of Civil Engineering of the University of Salerno; PhD in "Engineering of structures and building and urban recovery". E-mail: pfiore@unisa.it

Rossella Marmo

Ingegnere e Architetto; Dottore di Ricerca in "Ingegneria dei Sistemi Civili"; Assegnista di Ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno. E-mail: rmarmo@unisa.it

Engineer and Architect; PhD in "Civil Systems Engineering", Research Fellow at the Department of Civil Engineering, University of Salerno. E-mail: rmarmo@unisa.it

Emanuela D'Andria

Architetto; Assegnista di Ricerca nell'ambito del Progetto "Caratterizzazione di modelli per il riuso sostenibile dell'architettura dismessa nei centri minori delle aree interne" e PhD in "Rischio e sostenibilità nei sistemi dell'ingegneria civile, edile ed ambientale", Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno. E-mail: emdandria@unisa.it

Architect; Research Fellow within the Project "Characterization of models for the sustainable reuse of disused architecture in the small towns of inland areas" and PhD in "Risk and Sustainability in Civil, Architectural and Environmental Engineering Systems", Department of Civil Engineering, University of Salerno. E-mail: emdandria@unisa.it

Carmelo Falce

Ingegnere Edile; Architetto; Studente di Dottorato di Ricerca in "Rischio e sostenibilità nei sistemi dell'ingegneria civile, edile ed ambientale", Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno E-mail: cfalce@unisa.it

Building Engineer; Architect; PhD student in "Risk and Sustainability in Civil, Construction and Environmental Engineering Systems", Department of Civil Engineering, University of Salerno. E-mail: cfalce@unisa.it

Ilaria Perrotta

Ingegnere Edile; Studente di Dottorato di Ricerca in "Rischio e sostenibilità nei sistemi dell'ingegneria civile, edile ed ambientale", Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno E-mail: iperrotta@unisa.it

Building Engineer; PhD student in "Risk and Sustainability in Civil, Construction and Environmental Engineering Systems", Department of Civil Engineering, University of Salerno. E-mail: iperrotta@unisa.it

Abstract

Il CALCESTRUZZO AERATO AUTOCLAVATO (CAA) è un materiale da costruzione leggero preconfezionato con notevoli vantaggi dal punto di vista costruttivo. È un tipo di calcestruzzo estremamente maneggevole, rapido per la messa in opera e risponde a diverse esigenze del settore edilizio: isolamento acustico e termico, resistenza al fuoco, sostenibilità. Nella presente relazione verrà esaminato il materiale in tutti i suoi aspetti: dalla nascita alle proprietà e la relativa messa in opera.

SELF-CLAVED AERATED CONCRETE (CAA) is a lightweight ready-mixed construction material with significant advantages from a construction standpoint. It is a type of concrete that is extremely easy to handle, quick to place, and meets a variety of building industry needs: sound and thermal insulation, fire resistance, and sustainability. This report will examine the material in all its aspects: from its birth to its properties and its implementation.

Parole chiave

Calcestruzzo aerato autoclavato, resistenza al fuoco, sostenibilità ambientale, facilità di posa in opera

Introduzione

Iniziata nel 2007 e inaugurata nel settembre 2012, la Stazione della Metropolitana Toledo (Figura 1) – progettata da Oscar Tusquets Blanca – è stata definita dal quotidiano britannico Daily Telegraph, il 3 dicembre dello stesso anno, e dalla CNN come “la più bella stazione di metropolitana d’Europa”. Inoltre, si è aggiudicata nel 2013 l’Emirates Leaf International Award come “Public building of the year” e in seguito anche il premio ITA (International Tunnelling Association) per le opere in sotterraneo. Di particolare interesse è l’attenzione che è stata posta sugli aspetti riguardanti la prevenzione incendi e la sostenibilità della Stazione: per le partizioni interne in muratura sono stati utilizzati blocchi (di spessore minimo pari a 12 cm) costituiti da un particolare tipo di calcestruzzo, detto CALCESTRUZZO AERATO AUTOCLAVATO (CAA).

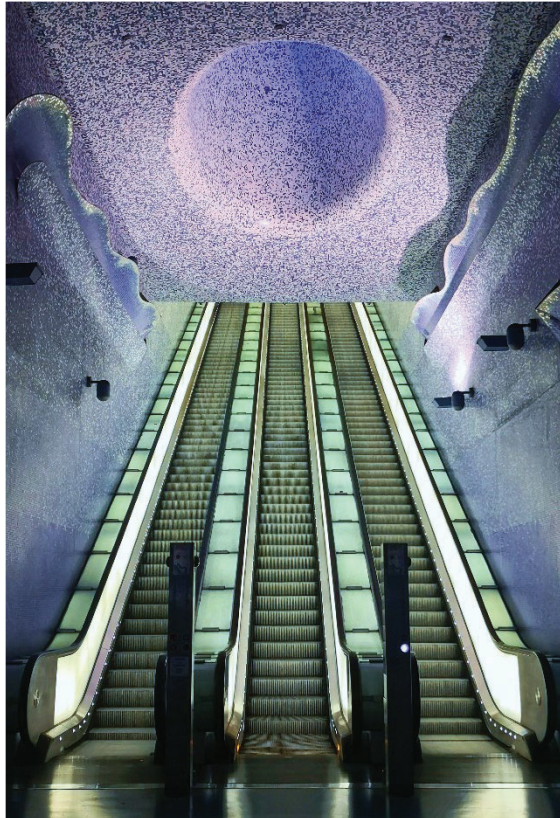


Figura 1. Interno della Stazione Toledo

Il calcestruzzo aerato autoclavato è un materiale caratterizzato da: autocostruzione, autorecupero, maneggevolezza e rapidità di posa in opera (riducendo i costi per la mano d’opera) e tante altre proprietà tali da renderlo in grado di soddisfare le nuove esigenze del settore edilizio.



Figura 2. Calcestruzzo aerato autoclavato

Introduction

Started in 2007 and inaugurated in September 2012, the Toledo Subway Station (Figure 1) - designed by Oscar Tusquets Blanca - was named by the British newspaper Daily Telegraph, on December 3 of the same year, and by CNN as "the most beautiful subway station in Europe". In addition, it won the Emirates Leaf International Award in 2013 as "Public building of the year" and later also the ITA (International Tunnelling Association) award for underground works. Of particular interest is the attention that has been paid to aspects relating to fire prevention and sustainability of the station: for the internal masonry partitions were used blocks (with a minimum thickness of 12 cm) made of a particular type of concrete, called Aerated Autoclaved Concrete (AAC).

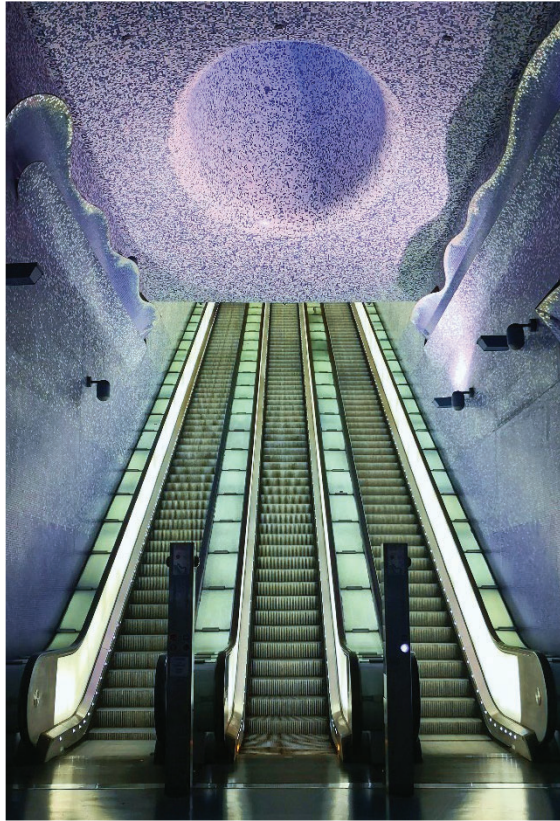


Figure 3. Inside Toledo Station

Autoclaved aerated concrete is a material characterized by: self-construction, self-recovery, manageability and speed of installation (reducing labor costs) and many other properties that make it able to meet the new demands of the construction industry.



Figure 4. Aerated autoclaved concrete

Il materiale

Questo tipo di calcestruzzo è un materiale da costruzione preconfezionato costituito da (Figura 3):

- sabbia silicea
- cemento Portland
- ossido di calcio
- acqua
- gesso

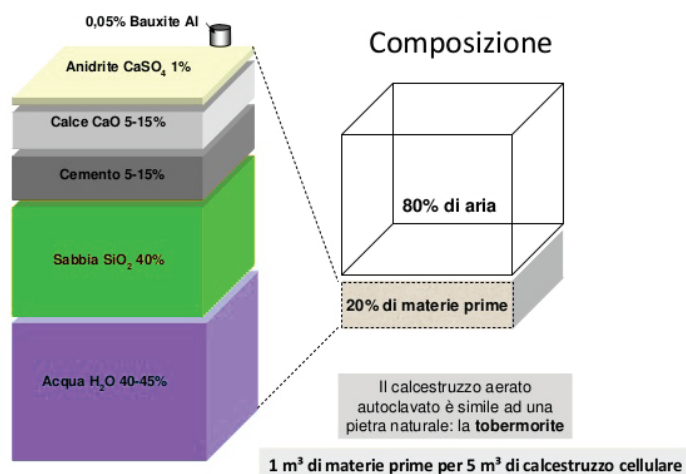


Figura 3. Composizione del CAA

È importante che per la realizzazione non vengano mai utilizzati inerti di dimensioni superiori alla sabbia ($d < 2$ mm). Il materiale è costituito per il 30% del volume da sostanze solide e per il restante 70% da aria, che si presenta sotto forma di micro e macro-porosità (da 0,1 a 2 mm, Figura 4).



Figura 4. Dimensioni dei pori all'interno del blocco di CAA

Il calcestruzzo aerato autoclavato è un materiale ecologico perché l'intero ciclo vitale (trasformazione della materie prime, produzione del materiale finito, trasporto, messa in opera, trattamento a rifiuto) tiene conto dei seguenti aspetti: materie prime inesauribili e facilmente reperibili (sabbia silicea, calce, cemento ed acqua sono risorse naturali facilmente reperibili in quantità praticamente inesauribili poiché rappresentano circa l'80% della composizione della crosta terrestre); ciclo produttivo a basso consumo energetico e contenuto impatto ambientale; emissioni nocive trascurabili (l'indicatore di riferimento da considerare è l' "Indice di radioattività - I" la cui soglia massima è 0,5 sotto cui i materiali da costruzione non sono considerati nocivi per la salvaguardia della salute. Per la maggior parte dei materiali da costruzione tradizionali vale $0,5 \leq I \leq 1,0$ e le ricerche hanno dimostrato che il CAA ha un indice di radioattività $I \leq 0,5$); totale riciclabilità (il materiale di scarto che deriva dalla produzione può essere riutilizzato ed inoltre tutti gli scarti delle lavorazioni in cantiere possono essere smaltiti nelle normali discariche per materiali non pericolosi); realizzazione di edifici a basso consumo energetico.

The material

This type of concrete is a ready-mixed construction material consisting of (Figure 3):

- silica sand
- Portland cement
- calcium oxide
- water
- gypsum

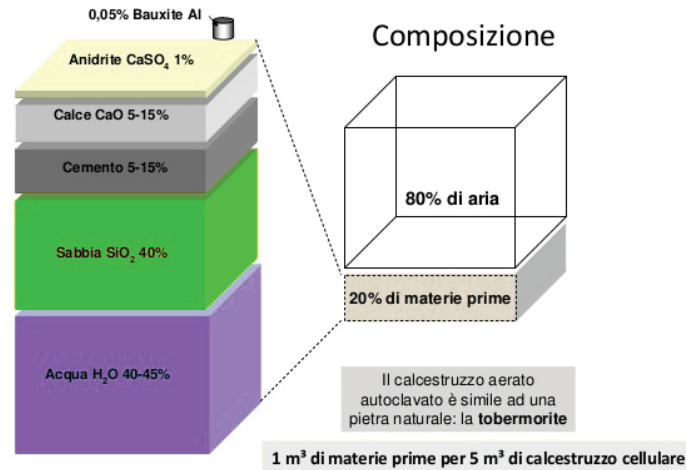


Figure 3. Composition of the AAC

It is important that aggregates larger than sand ($d < 2$ mm) are never used for construction. The material consists of 30% of the volume of solids and the remaining 70% of air, which is in the form of micro- and macro-porosity (0.1 to 2 mm, Figure 4).



Figure 4. Pore size inside the AAC block

Autoclaved aerated concrete is an environmentally friendly material because its entire life cycle (transformation of the raw materials, production of the finished material, transport, installation, waste treatment) takes into account the following aspects: inexhaustible and easily available raw materials (silica sand, lime, cement and water are natural resources easily available in practically inexhaustible quantities as they represent about 80% of the composition of the earth's crust); production cycle with low energy consumption and low environmental impact; negligible harmful emissions (the reference indicator to be considered is the "Index of Radioactivity - I" whose maximum threshold is 0.5 below which building materials are not considered harmful for the protection of health. For most traditional building materials it is $0.5 \leq I \leq 1.0$ and research has shown that the AAC has a radioactivity index $I \leq 0.5$); total recyclability (the waste material resulting from production can be reused and also all the waste from the work on site can be disposed of in normal landfills for non-hazardous materials); construction of buildings with low energy consumption.

La produzione

Il processo per la realizzazione del calcestruzzo autoclavato (o anche detto areato) parte dalla sabbia che viene macinata a umido e viene unita a calce e cemento, ottenendo un impasto fluido che viene miscelato con l'acqua e poi colato in forme metalliche. Qui viene effettuata la formazione delle bolle d'aria, che conferiscono la tipica caratteristica di porosità, mediante l'aggiunta all'impasto di:

- schiuma
- polistirolo espanso EPS
- polvere di alluminio tra il 5 e l'8% del volume, in funzione della densità che si vuole raggiungere.

Ciascuna di queste sostanze reagisce con la miscela producendo bolle di idrogeno che vanno a creare i pori.

Quando il materiale raggiunge una consistenza solida, il processo di lievitazione si interrompe da solo: si formano i vuoti, l'idrogeno viene rilasciato e viene sostituito da aria, l'isolante termico naturale per eccellenza. Infine il materiale, in questa fase in cui è ancora duttile, viene tagliato in blocchi o pannelli e poi chiuso in autoclave per 11/12 ore per il processo di maturazione, il quale avviene a vapore saturo, con temperature fino ai 190 °C e pressione tra gli 8 e i 12 bar.

Tipi di blocco in calcestruzzo aerato autoclavato

Nelle operazioni di taglio è possibile ottenere diversi tipi di blocchi (Figura 5):

- Blocchi per murature portanti
- Blocchi per murature di tamponamento
- Blocchi e tavelle per partizioni interne
- Tavelle per fodere e contropareti
- Elementi scanalati
- Blocchi-cassero per l'alloggiamento di armature
- Blocchi forati per irrigidimento verticale
- Pannelli armati utilizzati come architravi per porte e finestre

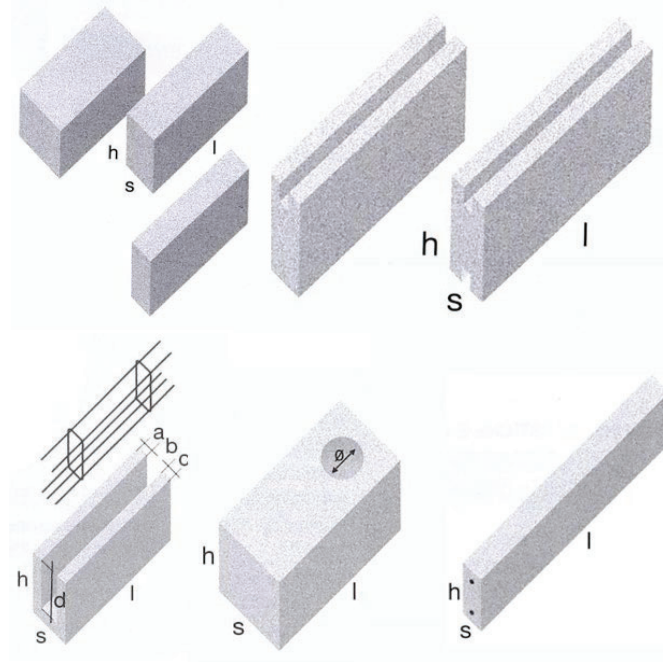


Figura 5. Tipi di blocco in CAA

The production

The process for making autoclaved concrete (or also called aerated concrete) starts with sand that is wet ground and is combined with lime and cement, resulting in a fluid mixture that is mixed with water and then poured into metal forms. Here the formation of air bubbles, which give the typical characteristic of porosity, is carried out by adding to the mixture of:

- foam
- expanded polystyrene EPS
- aluminum powder between 5 and 8% of the volume, depending on the density you want to achieve.

Each of these substances reacts with the mixture to produce hydrogen bubbles that go into creating pores.

When the material reaches a solid consistency, the leavening process stops on its own: the voids form, the hydrogen is released and is replaced by air, the natural thermal insulator par excellence. Finally the material, in this phase in which it is still ductile, is cut into blocks or panels and then closed in an autoclave for 11/12 hours for the maturation process, which takes place in saturated steam, with temperatures up to 190 ° C and pressure between 8 and 12 bar.

Autoclaved aerated concrete block types

Different types of blocks can be obtained in cutting operations (Figure 5):

- Blocks for load bearing walls
- Blocks for curtain walls
- Blocks and planks for internal partitions
- Planks for linings and counter walls
- Grooved elements
- Hollow blocks for reinforcement housing
- Hollow blocks for vertical stiffening
- Reinforced panels used as architraves for doors and windows

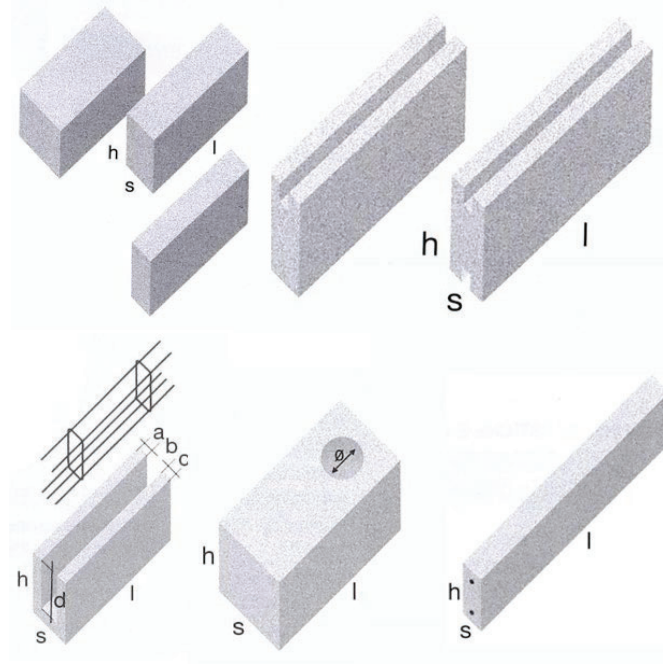


Figure 6. Types of AAC blocks

Le caratteristiche

Resistente e leggero

I blocchi di calcestruzzo aerato autoclavato sono resistenti e leggeri, si sollevano facilmente e possono essere posati in opera facilmente. Dopo la produzione, il blocco finale è caratterizzato dal 20-30% di materiale solido e dal 70-80% di aria presente sottoforma di macroporosità e microporosità.

Precisione e semplicità nella posa in opera

La messa in opera è favorita dalla precisione dimensionale dei blocchi ed alla omogeneità del materiale. Inoltre la posa è più rapida di circa il 30% rispetto ai sistemi tradizionali e la facilità di taglio in cantiere consente di ottenere dei blocchi direttamente in cantiere riducendo costi e tempi.

Isolamento acustico e termico

Grazie alla porosità della struttura del materiale ed alla possibilità di essere posati con giunti sottili, il calcestruzzo aerato autoclavato non è soggetto alla creazione dei ponti acustici.

Per quanto riguarda l'isolamento termico, sappiamo che l'aria è il miglior isolante: il CAA, formato da una massa omogenea e porosa di microcellule contenenti aria, è caratterizzato da un ridotto peso specifico che conferisce al materiale ottime capacità di isolamento. Diminuendo la densità crescono le dimensioni delle micro porosità, aumentano di conseguenza i quantitativi di aria contenuti e migliorano le prestazioni termiche invernali del materiale. Nel dettaglio la conducibilità termica λ (W/mK) e il peso specifico ρ (Kg/mc) sono i valori utilizzati per il calcolo delle prestazioni termiche invernali.

Invece i fattori che influenzano l'isolamento termico estivo sono: massa volumica, conducibilità termica λ , velocità di raffreddamento dei materiali e attenuazione dell'onda termica (inerzia termica). Nonostante la ridotta massa volumica, il materiale in questione è caratterizzato da un'ottima inerzia termica. Bassi valori di λ e ottimi valori di attenuazione dell'onda termica garantiscono elevate capacità di accumulo termico che permettono al calcestruzzo aerato autoclavato di formare una barriera contro il calore esterno in estate.

Infine, per la sua capacità di trattenere aria, il CAA è traspirante e assicura in tutte le stagioni un perfetto equilibrio tra temperatura ed umidità dell'aria interna agli alloggi.

Permeabilità all'acqua

Il calcestruzzo aerato autoclavato è ottimo nei casi in cui è necessario un drenaggio: è in grado di ridurre i carichi senza deviare o interrompere il flusso naturale delle acque.

Resistenza al fuoco

Il calcestruzzo aerato autoclavato è un materiale incombustibile (Euroclasse di reazione al fuoco A1 – secondo D.M. 10/03/05) grazie alle materie prime di natura minerale di cui è composto, altamente resistente al fuoco e non rilascia fumi tossici. Le pareti realizzate con blocchi di spessore minimo di 80 mm garantiscono prestazioni certificate di resistenza al fuoco REI 120, oltre a costituire la soluzione ottimale per l'esecuzione di compartimentazioni antincendio.

La Direttiva CEE 89/106, anche detta CPD "Construction Products Directive", riguarda i requisiti essenziali che i prodotti da costruzione debbono possedere per garantire la sicurezza in caso di incendio. Il successivo Regolamento CPR 305/11 entrato in vigore il 1 luglio 2013, che disciplina l'immissione e la libera circolazione sul mercato europeo dei prodotti da costruzione, approva e conferma la Direttiva CEE 89/106. Secondo tali normative, in caso di incendio le strutture devono garantire che: la capacità portante resista per un periodo di tempo prefissato tale da permettere agli occupanti di lasciare l'edificio o di essere soccorsi, lo sviluppo e la propagazione del fuoco e del fumo sia limitato tanto all'interno dell'edificio quanto agli edifici vicini.

Nel 2000 la Commissione Europea (2000/147/CEE) suddivide in Euroclassi (dalla A1 alla F) i prodotti da costruzione, in modo da creare una base comune per il confronto dei materiali stessi, in base a:

The characteristics

Resistant and light

Autoclaved aerated concrete blocks are strong and lightweight, lift easily and can be laid easily. After production, the final block is characterized by 20-30% solid material and 70-80% air present in the form of macroporosity and microporosity.

Precision and simplicity in laying

The installation is favored by the dimensional precision of the blocks and the homogeneity of the material. In addition, the laying is about 30% faster than traditional systems and the ease of cutting in cantiere allows you to get the blocks directly on site reducing costs and time.

Acoustic and thermal insulation

Due to the porosity of the material structure and the possibility of being laid with thin joints, autoclaved aerated concrete is not subject to the creation of acoustic bridges.

As far as thermal insulation is concerned, we know that air is the best insulator: CAA, formed by a homogeneous and porous mass of microcells containing air, is characterized by a low specific weight that gives the material excellent insulation capabilities. Decreasing the density increases the size of the micro porosity, consequently increasing the amount of air contained and improving the thermal performance of the material in winter. In detail, the thermal conductivity λ (W/mK) and the specific weight ρ (Kg/mc) are the values used for the calculation of winter thermal performance.

Instead, the factors that influence the summer thermal insulation are: density, thermal conductivity λ , cooling rate of materials and attenuation of the thermal wave (thermal inertia). Despite the low density, the material in question is characterized by excellent thermal inertia. Low values of λ and excellent values of attenuation of the thermal wave ensure high thermal storage capacities that allow autoclaved aerated concrete to form a barrier against external heat in summer.

Lastly, because of its ability to hold air, CAA is breathable and ensures a perfect balance between temperature and humidity of the air inside the accommodation in all seasons.

Water permeability

Autoclaved aerated concrete is great where drainage is needed: it can reduce loads without diverting or interrupting the natural flow of water.

Fire resistance

Autoclaved aerated concrete is an incombustible material (fire reaction Euroclass A1 - according to Ministerial Decree 10/03/05) thanks to the mineral raw materials of which it is composed, highly fire resistant and does not release toxic fumes. The walls made of blocks with a minimum thickness of 80 mm ensure certified performance of fire resistance REI 120, as well as being the optimal solution for the execution of fire compartments.

The EEC Directive 89/106, also known as CPD "Construction Products Directive", concerns the essential requirements that construction products must possess to ensure safety in case of fire. The subsequent Regulation CPR 305/11 entered into force on July 1, 2013, which regulates the release and free movement of construction products on the European market, approves and confirms the EEC Directive 89/106. According to these regulations, in case of fire, the structures must ensure that: the load-bearing capacity resists for a fixed period of time to allow occupants to leave the building or to be rescued, the development and spread of fire and smoke is limited both within the building and to neighboring buildings.

In 2000 the European Commission (2000/147/EEC) divides construction products into Euroclasses (from A1 to F), in order to create a common basis for comparison of the materials themselves, according to:

- la “reazione al fuoco”: rappresenta il comportamento del materiale esposto al fuoco che può alimentare o meno l’incendio stesso ed è un parametro molto importante nelle costruzioni perché aiuta a caratterizzare i materiali di rifinitura e di rivestimento, dei controsoffitti, delle decorazioni ed altri, nonché oggetti di arredamento, tendaggi e tessuti. È possibile determinare la “reazione al fuoco” di un materiale mediante prove su campioni effettuate in laboratorio seguendo le disposizioni del D.M. 26/06/1984. In base a tali prove, i materiali sono suddivisi in classi da 0 a 5 (Tabella 1):

<i>Classe Italiana</i>	<i>Definizione</i>
0	Materiali incombustibili
1	Materiali combustibili non infiammabili
2	Materiali combustibili difficilmente infiammabili
3	Materiali combustibili infiammabili
4	Materiali combustibili facilmente infiammabili
5	Materiali combustibili estremamente infiammabili

Tabella 1. Classi di reazioni al fuoco italiane

Il D.M. 26/06/1984 fu integrato con il D.M. 16/02/2009 che riporta delle tabelle con le quali si possono convertire le classi di reazioni al fuoco italiane in Euroclassi.

- la “resistenza al fuoco”: è un parametro riferito alle strutture ed agli edifici e rappresenta la capacità di un sistema, composto da un materiale o da più materiali, di resistere per un determinato intervallo di tempo all’isolamento durante l’incendio. In base alla Normativa REI le classi di resistenza al fuoco sono espresse con un numero che corrisponde al tempo in minuti entro cui la resistenza al fuoco deve essere garantita: 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 360. Ciascun numero è preceduto dalla sigla REI che indica e certifica il possesso dei seguenti requisiti da parte dei materiali:
 - R: Resistenza: indica la capacità a conservare la resistenza meccanica sotto l’azione del fuoco;
 - E: Emissione: rappresenta la capacità a non lasciare passare né produrre (se sottoposto da un lato all’azione del fuoco) vapori o gas caldi sul lato non esposto;
 - I: Isolamento: rappresenta l’isolamento termico ossia la capacità di ridurre entro un certo limite di tempo la trasmissione di calore.

Soddisfa requisiti minimi in zona sismica

I blocchi portanti in CAA soddisfano i requisiti minimi di resistenza espressi dal D.M. 14/01/08 per le zone sismiche 1-2-3, grazie ad una elevata resistenza caratteristica a compressione ed a taglio. Inoltre sono caratterizzati da valori limitati di massa volumica e di modulo elastico.

Sostenibilità ambientale

Il calcestruzzo cellulare autoclavato è un materiale da costruzione ad alta sostenibilità ambientale per tutti i motivi già descritti nel paragrafo “Il materiale”.

Difatti le aziende produttrici di questo particolare tipo di calcestruzzo sono tutte dotate di Dichiarazioni Ambientali (come l’EPD) rispondenti alle norme UNI: EN 15804, ISO 14025.

- the "reaction to fire": it represents the behavior of the material exposed to fire that may or may not feed the fire itself and it is a very important parameter in construction because it helps to characterize the finishing and covering materials, ceilings, decorations and others, as well as furnishing items, curtains and fabrics. It is possible to determine the "reaction to fire" of a material by means of tests on samples carried out in laboratories following the provisions of Ministerial Decree 26/06/1984. On the basis of these tests, materials are divided into classes from 0 to 5 (Table 1):

<i>Italian Class</i>	<i>Definition</i>
0	Incombustible materials
1	Non-flammable combustible materials
2	Hardly flammable combustible materials
3	Flammable combustible materials
4	Highly flammable combustible materials
5	Extremely flammable combustible materials

Table 2. Italian fire reaction classes

The Ministerial Decree of 26/06/1984 was integrated with the Ministerial Decree of 16/02/2009, which contains tables with which the Italian fire reaction classes can be converted into Euroclasses.

- the "fire resistance": is a parameter referred to structures and buildings and represents the ability of a system, composed of a material or several materials, to resist for a certain period of time the insulation during a fire. According to the REI Norm, the fire resistance classes are expressed with a number that corresponds to the time in minutes within which fire resistance must be guaranteed: 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 and 360. Each number is preceded by the abbreviation REI that indicates and certifies the possession of the following requirements by the materials:
 - R: Strength: indicates the ability to retain mechanical strength under the action of fire;
 - E: Emission: represents the capacity not to let pass nor to produce (if subjected on one side to the action of the fire) hot vapors or gases on the non-exposed side;
 - I: Insulation: represents the thermal insulation, i.e. the ability to reduce heat transmission within a certain time limit.

Meets minimum requirements in seismic zone

The CAA load-bearing blocks meet the minimum resistance requirements expressed by the Ministerial Decree 14/01/08 for seismic zones 1-2-3, thanks to a high characteristic resistance to compression and shear. They are also characterized by limited values of density and elastic modulus.

Environmental Sustainability

Autoclaved cellular concrete is a construction material with high environmental sustainability for all the reasons already described in the section "The material".

In fact, the companies producing this particular type of concrete are all equipped with Environmental Declarations (such as EPD) in accordance with UNI: EN 15804, ISO 14025.

Posa in opera dei blocchi

Per la Stazione della Metropolitana Toledo, come già suddetto, i blocchi di calcestruzzo aerato autoclavato sono stati utilizzati per le partizioni interne in muratura (il cui spessore minimo è pari a 12 cm), per i quali è possibile analizzare come avviene la posa in opera.

Il corretto rapporto tra spessore ed altezza dei tramezzi interni è di 1:30: nei tradizionali edifici civili, ad esempio, che presentano un'altezza di interpiano pari a 3,00 m circa, si devono utilizzare blocchi con spessore maggiore o uguale a 10 cm; invece la lunghezza massima deve essere minore o uguale a 50 volte lo spessore della muratura: per pareti da 10 cm, ad esempio, devono essere realizzate pareti di lunghezze massime di 5,00 m circa. In ogni caso non è consigliato realizzare tramezzi interni con altezza superiore a 4,00 m e lunghezza superiore a 7,50 m senza prima prevedere idonei irrigidimenti orizzontali e giunti elastici verticali di dilatazione. Per murature con spessori come i tramezzi interni, i sistemi di irrigidimento orizzontale possono essere realizzati in due modi: inserendo all'interno degli strati di malta appositi tralicci prefabbricati in acciaio oppure realizzando in opera dei blocchi scanalati nei quali alloggiare per tutta la lunghezza della muratura dei tondini in acciaio ad aderenza migliorata. Invece i giunti elastici verticali di dilatazione dovranno essere realizzati con: schiuma poliuretana (inumidire le superfici per una migliore adesione) o materassini cedevoli (come la lana di roccia), sigillando conseguentemente le estremità.

La posa in opera per i tramezzi interni inizia inserendo alla base dei divisori un'apposita fascia elastica in polietilene espanso ad alta densità con lo scopo di minimizzare l'effetto delle deformazioni statiche e della trasmissione dei rumori. Successivamente è necessario: livellare perfettamente la base di appoggio con uno strato di malta di spessore pari a circa 1 cm, sovrapponendo la guaina tagliamuro (che crea una barriera all'umidità di risalita), lasciare asciugare per almeno 24 ore ed iniziare la posa della prima fila di blocchi su un secondo strato di malta.

Il collegamento tra divisori interni e tamponamenti perimetrali deve essere in grado di assicurare un perfetto ancoraggio elastico tra le due pareti evitando che si creino fessurazioni nelle zone di contatto. Per fare ciò, è necessario posare i blocchi distanziandoli di almeno 1 cm dai muri perimetrali e riempire il giunto con un materiale elastico (schiuma poliuretana o materassini cedevoli); sarà poi possibile ancorare il tramezzo con i sistemi di fissaggio (barre di armatura incollate o squadrette metalliche con viti e chiodi). Analogamente si procederà per le sommità delle pareti nelle zone di contatto con travi e solai.

Per garantire una maggiore stabilità d'insieme è necessario realizzare il collegamento tra i divisori interni mediante ammorsamento dei filari di muratura. Inoltre l'ultimo filare di muratura è preferibile che sia realizzato con blocchi interi in altezza, riducendo eventualmente le dimensioni degli elementi nella penultima fila.

Laying of blocks

For the Toledo Metro Station, as already mentioned, autoclaved aerated concrete blocks have been used for the internal masonry partitions (whose minimum thickness is 12 cm).

The correct ratio between thickness and height of internal partitions is 1:30: in traditional civil buildings, for example, which have an inter-floor height of about 3.00 m, blocks with a thickness greater than or equal to 10 cm must be used; on the other hand, the maximum length must be less than or equal to 50 times the thickness of the masonry: for walls of 10 cm, for example, walls with a maximum length of about 5.00 m must be made. In any case, it is not recommended to realize internal partitions with a height higher than 4,00 m and a length higher than 7,50 m without first providing suitable horizontal stiffeners and vertical elastic expansion joints. For masonry with thicknesses such as internal partitions, the horizontal stiffening systems can be realized in two ways: by inserting inside the layers of mortar special prefabricated steel trusses or by realizing on site some grooved blocks in which to place for the whole length of the masonry some steel rods with improved adherence. Instead, the vertical elastic expansion joints must be made with: polyurethane foam (moisten the surfaces for better adhesion) or yielding mats (such as rock wool), consequently sealing the ends.

The installation for internal partitions starts by inserting at the base of the partitions a special elastic band in high density expanded polyethylene in order to minimize the effect of static deformations and noise transmission. Then it is necessary: to perfectly level the base of support with a layer of mortar about 1 cm thick, overlapping the sheath wall (which creates a barrier against rising damp), let it dry for at least 24 hours and start laying the first row of blocks on a second layer of mortar.

The connection between internal partitions and perimeter curtain walls must be able to ensure a perfect elastic anchorage between the two walls avoiding the creation of cracks in the contact areas. To do this, it is necessary to lay the blocks spacing them at least 1 cm from the perimeter walls and fill the joint with an elastic material (polyurethane foam or yielding mats); it will then be possible to anchor the partition with the fixing systems (glued reinforcement bars or metal squares with screws and nails). The same will be done for the tops of the walls in the areas of contact with beams and floors.

In order to guarantee a greater stability of the whole, it is necessary to realize the connection between the internal partitions by means of a clamping of the masonry rows. Moreover, the last row of masonry is preferable to be made with whole blocks in height, possibly reducing the size of the elements in the penultimate row.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA/ BIBLIOGRAPHY AND WEBSITE

- La Mantia F.M., Iovino R., La prevenzione incendi nella Stazione Toledo. Linea 1 della Metropolitana di Napoli, Termoli, Concrete 2016 - Architettura e Tecnica, 2016/ La Mantia F.M., Iovino R., Fire prevention in the Toledo Station. Line 1 of the Naples Metro, Termoli, Concrete 2016 - Architecture and Technology, 2016
- "ArchitetturaEcosostenibile.it", <https://www.architetturaecosostenibile.it/materiali/eco-cemento/calcestruzzo-aerato-autoclavato-614>, 2016
- https://www.edilportale.com/news/2021/04/focus/murature-monostrato-in-calcestruzzo-aerato-autoclavato-per-il-risparmio-energetico_82204_67.html, 2021
- AirBeton, http://www.airbeton.it/download/AIR01A01_CTL_BROCHURE_2016.pdf
- EdilNet, <https://blog.edilnet.it/il-calcestruzzo-aerato-in-edilizia-quali-sono-gli-usi-e-quali-le-caratteristiche/>

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE DOS CASCARONES HYPAR

ANALYSIS AND COMPARISON OF TWO HYPAR SHELLS

Quiteria Angulo Ibáñez

*Investigador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Asociado, Arquitecto. Doctora en Arquitectura por la UPV. E-mail: quianib@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València, Assistant Professor. Architect. PhD in Architecture by the UPV.*

Luis Almenar Fernández

Arquitecto / Architect

Abstract

Between 1950 and 1970, Félix Candela obtained an important international recognition for his specialization in the construction of reinforced concrete laminar structures. The purpose of this project is the structural analysis of two of his most important and recognized works, the hypar roofs that cover the Los Manantiales Restaurant and the Oceanographic Restaurant, very similar to each other, but with differences that generate a special interest in their structural comparison.

The analysis has been carried out with SAP2000 [CSI Spain · UPV Student Licence], having previously defined the actions to be applied. Subsequently, the Serviceability Limit States (SLS) and Ultimate Limit States (ULS) have been checked, mainly in accordance with the regulations currently in force in Spain, the CTE and the EHE-08. Finally, a comparison of the results obtained after the analyses will be made between the sheets, concluding with some general reflections.

Keywords

Félix Candela, Reinforced concrete sheet, Hypar, Reinforced concrete shell

Introducción | Introduction

Félix Candela fue un arquitecto madrileño nacido en 1910 que, tras graduarse y debido a la Guerra Civil, se vio obligado a exiliarse a México en el año 1939. En este país tuvo que indagar en soluciones eficientes y prácticas que le permitieran superar a la competencia, recurriendo así a las estructuras laminares de hormigón armado.

Félix Candela was an architect from Madrid born in 1910 who, after graduating and due to the Civil War, was forced to go into exile in Mexico in 1939. In this country he had to look for efficient and practical solutions that would allow him to surpass the competition, and so he resorted to reinforced concrete shell structures.

Esta tipología permitía numerosas posibilidades constructivas y estéticas con el uso de muy poco material. Se conformaban a partir de superficies que tuvieran una naturaleza estable, como las de simple o de doble curvatura, trabajando estas últimas mediante esfuerzos de membrana, lo que comporta que no exista una gran presencia de flectores, el trabajo es principalmente mediante axiles, lo que permite reducir el espesor.

This typology allowed numerous constructive and aesthetic possibilities with the use of very little material. They were formed from surfaces that had a stable nature, such as those of simple or double curvature, the latter working by means of membrane stresses, which means that there is not a large presence of bending, the work is mainly by means of axial forces, which allows the thickness to be reduced.

El paraboloides hiperbólico (hypar) fue la superficie doblemente reglada por excelencia y más usada por Candela, ya que, además de permitir su construcción mediante encofrados de tablas que siguieran sus generatrices, posee una ecuación de esfuerzos relativamente sencilla.

The hyperbolic paraboloid (hypar) was the double ruled surface par excellence and the one most used by Candela, since, in addition to allowing its construction by means of slab formwork following its generatrices, it has a relatively simple stress equation.

Una de las obras más conocidas de este arquitecto fue la cubierta del restaurante Los Manantiales, construida en 1957 en Xochimilco, Ciudad de México. Fue proyectada mediante la intersección de cuatro hypar seccionados por un plano frontal de 60° con la horizontal y por dos planos laterales que forman 45° entre sí, generando una cubierta compuesta por 8 lóbulos radiales, una forma muy similar a un nenúfar. Además, Candela definió el "borde libre", esto permitía liberar el borde frontal de vigas de refuerzo, transmitiendo las cargas a través de los nervios de unión entre lóbulos.

One of this architect's best-known works was the roof of the Los Manantiales restaurant, built in 1957 in Xochimilco, Mexico City. It was designed by the intersection of four hypar sectioned by a frontal plane at 60° to the horizontal and by two lateral planes forming 45° to each other, generating a roof made up of eight radial lobes, a shape very similar to a water lily. In addition, Candela defined the "free edge", which allowed the front edge to be free of reinforcement beams, transmitting the loads through the connecting ribs between lobes.

A finales de 1990, Félix Candela fue invitado a Valencia (España) para la construcción de dos láminas hypar en el Parque Oceanográfico, un acuario público que estaba en construcción. Una de las láminas cubriría el restaurante del lugar, así que se optó por una reproducción de la cubierta de Xochimilco. Sin embargo, Candela murió en 1997, quedando el proyecto en manos de Carlos Lázaro y Alberto Domingo, dos ingenieros de caminos de la UPV. La obra actual, también conocida como JC Hypar, cuenta con algunas diferencias constructivas y estructurales con respecto a la original, lo que suscita el interés en el análisis y en la comparación frente a las acciones y a los requisitos de las normativas actuales.

At the end of 1990, Félix Candela was invited to Valencia (Spain) for the construction of two hypar sheets in the Oceanographic Park, a public aquarium that was under construction. One of the sheets was to cover the on-site restaurant, so a reproduction of the Xochimilco roof was chosen. However, Candela died in 1997, leaving the project in the hands of Carlos Lázaro and Alberto Domingo, two civil engineers from the UPV. The current work, also known as JC Hypar, has some

constructive and structural differences with respect to the original, which arouses interest in the analysis and comparison with the actions and requirements of current regulations.

De esta forma, mediante dos modelos de elementos finitos, será posible, haciendo uso del programa de análisis estructural SAP2000 (CSI Spain · Licencia UPV), el análisis estructural frente a diferentes acciones. Esto permitirá comprobar las exigencias de la normativa española frente a Estados Límite, pudiendo comparar los resultados, razonar las diferencias entre modelos e intentar justificar el porqué de algunas patologías.

In this way, by means of two finite element models, it will be possible, using the SAP2000 structural analysis programme (CSI Spain - UPV Student Licence), to carry out a structural analysis against different actions. This will make it possible to check the requirements of the Spanish regulations regarding Limit States, to compare the results, to reason the differences between models and to try to justify the reasons for some pathologies.

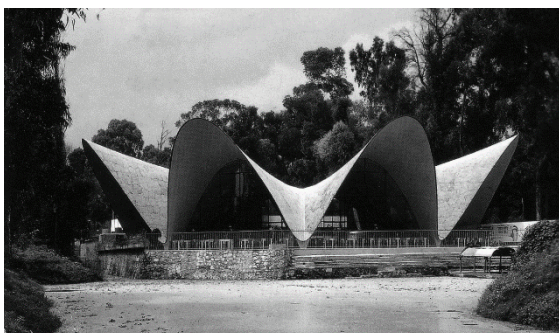


Imagen 1. Los Manantiales. Fuente: www.archdaily.com
Image 1. Los Manantiales. Source: www.archdaily.com



Imagen 2. JC Hypar. Fuente: es.wikipedia.org
Image 2. JC Hypar. Source: es.wikipedia.org

Las láminas de estudio | The study sheets

Dado que el objetivo de este trabajo es el estudio y comparación de estas dos estructuras, se ha considerado oportuno el análisis y la comprobación haciendo uso de las normativas españolas: CTE, NCSE-02 y EHE-08. De esta forma, se han tenido que realizar determinadas adaptaciones con la cubierta de Xochimilco.

Given that the objective of this work is the study and comparison of these two structures, it has been considered appropriate to analyse and verify them using the Spanish regulations: CTE, NCSE-02 and EHE-08. In this way, certain adaptations had to be made with the Xochimilco roof.

Antes del análisis, para la modelización, ha sido necesaria la recopilación de información acerca de las dimensiones y los detalles constructivos de ambas estructuras. De esta forma podrán definirse las simplificaciones y consideraciones oportunas para que los modelos se ajusten al comportamiento real.

Prior to the analysis, for the modelling, it was necessary to collect information about the dimensions and construction details of both structures. In this way, the appropriate simplifications and considerations can be defined so that the models can be adjusted to the real behaviour.

Lámina de Los Manantiales | Los Manantiales sheet

Esta cubierta presenta una longitud total entre extremos de 42,425 m. Apoyos contiguos distan entre sí 8,425 m, y entre pares de apoyos opuestos hay 30 m de distancia. Cada lóbulo vuela sobre su línea de apoyos 6,213 m. La lámina presenta una altura en el centro de 5,84 m y una altura en el extremo de los bordes de 9,933 m. Por otro lado, Candela consiguió dotar a esta estructura de un espesor mínimo de 4 cm, que aumenta hasta los 12 cm en los nervios de unión, armando la lámina con una malla de barras de 5/16'' de diámetro a 10 cm, reforzando las uniones con barras de 3/4''. Cabe nombrar que, dado que la lámina se encuentra directamente sobre la cimentación, los apoyos se modelizan como apoyos rígidos. Por último, en cuanto a los materiales, esta lámina se construye con un hormigón HA-12, armado con barras con una resistencia $f_{yk} = 126$ MPa y un módulo de elasticidad $E = 210.000$ MPa.

This deck has a total length of 42.425 m between ends. Adjoining supports are 8.425 m apart, and there is a distance of 30 m between pairs of opposing supports. Each lobe overhangs its support line by 6.213m. The sheet has a height at the centre of 5.84 m and a height at the end of the edges of 9.933 m. On the other hand, Candela managed to give this structure a minimum thickness of 4 cm, which increases to 12 cm at the connecting ribs, by reinforcing the sheet with a mesh of 5/16" diameter bars at 10 cm, reinforcing the joints with 3/4" bars. It should be noted that, since the sheet is directly on the foundation, the supports are modelled as rigid supports. Finally, about the materials, this sheet is made of HA-12 concrete, reinforced with bars with a strength $f_{yk} = 126$ MPa and a modulus of elasticity $E = 210,000$ MPa.

Lámina del Oceanográfico | Oceanographic Sheet

La lámina JC Hypar es ligeramente más grande, condicionada por la posición de los pilares sobre los que apoya, presentando una longitud total de 46,18 m. Los apoyos continuos se encuentran a 13,58 m entre sí, entre pares de apoyos opuestos hay 32,78 m y el voladizo de cada lóbulo es de 6,69 m. La cubierta presenta una altura central de 7,77 m y se alza 12,75 m en los extremos. Esta superficie laminar, condicionada por la normativa, aumentó el espesor general hasta los 6 cm y el de los nervios hasta los 16 cm, cumpliendo así con los recubrimientos mínimos. La armadura base es una malla de barras de 8 mm de diámetro dispuestas a 15 cm y las uniones se refuerzan con barras de 12 mm y 16 mm de diámetro. Esta cubierta apoya sobre una losa y una serie de pilares, presentando apoyos articulados, los cuales se reflejarán en el modelo de elementos finitos. Por último, en cuanto a la materialidad, esta lámina se construye con un hormigón HA-30 reforzado con fibras de acero, y el acero de las armaduras es de tipo B-500S.

The JC Hypar sheet is slightly larger, conditioned by the position of the pillars on which it rests, and has a total length of 46.18 m. The continuous supports are 13.58 m apart, there are 32.78 m between pairs of opposing supports, and the overhang of each lobe is 6.69 m. The roof has a central height of 7.77 m and rises 12.75 m at the ends. This sheet surface, conditioned by the regulations, increased the overall thickness to 6 cm and the thickness of the ribs to 16 cm, thus complying with the minimum coverings. The base reinforcement is a mesh of 8 mm diameter bars arranged at 15 cm and the joints are reinforced with 12 mm and 16 mm diameter bars. This deck rests on a slab and a series of columns, presenting articulated supports, which will be reflected in the finite element model. Finally, in terms of materiality, this sheet is constructed with HA-30 concrete reinforced with steel fibres, and the reinforcement steel is of type B-500S.

Evaluación de acciones | Evaluation of actions

Atendiendo al CTE y a la NCSE-02 se han evaluado las acciones que van a permitir el análisis de la respuesta estructural de ambas láminas: acciones permanentes, variables y accidentales.

In accordance with the CTE and the NCSE-02, the actions that will allow the analysis of the structural response of both sheets have been evaluated: permanent, variable and accidental actions.

Lámina de Los Manantiales | Los Manantiales sheet

- Acciones permanentes (G)
 - Peso propio: definido por SAP2000.
 - Cargas muertas permanentes: instalaciones luminosas [0,1 kN/m²].
- Acciones variables (Q)
 - Sobrecarga de uso: mantenimiento [1,0 kN/m²].
 - Carga de nieve: se considera una carga de nieve similar a la de Valencia (España) dado que la frecuencia de las nevadas es semejante [0,2 kN/m²].
 - Acción de viento: barlovento [0,94 kN/m²], sotavento [0,40 kN/m²], succión vertical del voladizo del lóbulo frontal [3,35 kN/m²], succión vertical general [1,21 kN/m²].

- Acciones accidentales (A)
 - Acción sísmica: se aplica el espectro elástico de respuesta, definido por una aceleración básica equivalente a la aceleración resultante durante el importante terremoto de 2017 que tuvo lugar en México [$a_b = 0,177g \text{ m/s}^2$].
- Permanent actions (G)
 - Dead weight: defined by SAP2000.
 - Permanent dead loads: light installations [0.1 kN/m^2].
- Variable actions (Q)
 - Service overload: maintenance [1.0 kN/m^2].
 - Snow load: a snow load similar to that of Valencia (Spain) is considered since the frequency of snowfall is similar [0.2 kN/m^2].
 - Wind action: windward [0.94 kN/m^2], leeward [0.40 kN/m^2], vertical suction of the front lobe overhang [3.35 kN/m^2], general vertical suction [1.21 kN/m^2].
- Accidental actions (A)
 - Seismic action: the elastic response spectrum is applied, defined by a base acceleration equivalent to the resultant acceleration during the major 2017 earthquake in Mexico [$a_b = 0.177g \text{ m/s}^2$].

Lámina del Oceanográfico | Oceanographic sheet

- Acciones permanentes (G)
 - Peso propio: definido por SAP2000.
- Acciones variables (Q)
 - Sobrecarga de uso: mantenimiento [$1,0 \text{ kN/m}^2$].
 - Carga de nieve: [$0,24 \text{ kN/m}^2$].
 - Acción de viento: barlovento [$0,74 \text{ kN/m}^2$], sotavento [$0,32 \text{ kN/m}^2$], succión vertical del voladizo del lóbulo frontal [$2,64 \text{ kN/m}^2$], succión vertical general [$0,95 \text{ kN/m}^2$].
- Acciones accidentales (A)
 - Acción sísmica: se aplica el espectro elástico de respuesta, definido por una aceleración básica obtenida de la NCSE-02 [$a_b = 0,06g \text{ m/s}^2$].
- Permanent actions (G)
 - Dead weight: defined by SAP2000.
- Variable actions (Q)
 - Service overload: maintenance [1.0 kN/m^2].
 - Snow load: [0.24 kN/m^2].
 - Wind action: windward [0.74 kN/m^2], leeward [0.32 kN/m^2], vertical suction of the front lobe overhang [2.64 kN/m^2], general vertical suction [0.95 kN/m^2].
- Accidental actions (A)
 - Seismic action: the elastic response spectrum is applied, defined by a base acceleration obtained from NCSE-02 [$a_b = 0.06g \text{ m/s}^2$].

Los espectros elásticos de ambas láminas son iguales porque los coeficientes que definen el terreno, la ductilidad, el amortiguamiento y la importancia del edificio son iguales, sin embargo, los coeficientes de mayoración a aplicar en las combinaciones de acciones serán mayores para la de Xochimilco debido a que el sismo presenta una aceleración superior.

The elastic spectrum of both sheets is the same because the coefficients that define the ground, ductility, damping and the importance of the building are the same, however, the coefficients to be applied in the combinations of actions will be higher for the Xochimilco sheet due to the higher acceleration of the earthquake.

Valores para el espectro elástico de respuesta Values for the elastic response spectrum																	
T	0,00	0,20	0,80	0,90	0,95	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,50	3,00	4,00	6,00	8,00	10,0
$\alpha(T)$	1,00	2,50	2,50	2,22	2,11	2,00	1,67	1,43	1,25	1,11	1,00	0,80	0,67	0,50	0,33	0,25	0,20

Imagen 3. Tabla de valores del espectro. Fuente: elaboración propia. | Image 3. Table of spectrum values. Source: own elaboration.

Comprobaciones de seguridad | Security checks

Las comprobaciones de seguridad mediante los Estados Límite se van a realizar atendiendo a las instrucciones españolas actuales: CTE y EHE-08. Mediante una serie de coeficientes de seguridad y de simultaneidad, obtenidos de las normativas, se realizan las combinaciones de acciones que permitirán comprobar los Estados Límite de Servicio (ELS) y los Estados Límite Últimos (ELÚ).

The safety checks by means of the Limit States will be carried out in accordance with the current Spanish instructions: CTE and EHE-08. By means of a series of safety and simultaneity coefficients, obtained from the regulations, the combinations of actions that will allow the Serviceability Limit States (SLS) and Ultimate Limit States (ULS) to be checked are carried out.

Combinación ELS característica SLS characteristic combination		
ELSpnn SLSpnn	$1 \cdot G + 1 \cdot Q_{SCN} + 1 \cdot 0,6 \cdot Q_{SCVx}$	$G + Q_{SCN} + 0,6 \cdot Q_{SCVx}$
ELSpvx SLSpvx	$1 \cdot G + 1 \cdot Q_{SCVx}$	$G + Q_{SCVx}$
Combinación ELS frecuente SLS frequent combination		
ELSfn SLSfn	$1 \cdot G + 1 \cdot 0,2 \cdot Q_{SCN}$	$G + 0,2 \cdot Q_{SCN}$
ELSfvx SLSfvx	$1 \cdot G + 1 \cdot 0,5 \cdot Q_{SCVx}$	$G + 0,5 \cdot Q_{SCVx}$
Combinación ELS cuasipermanente SLS quasi-permanent combination		
ELScpn SLScpn	$1 \cdot G + 1 \cdot 0 \cdot Q_{SCN}$	G
Combinación ELÚ permanente ULS permanent combination		
ELÚpn ULSpn	$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{SCN} + 1'5 \cdot 0,6 \cdot Q_{SCVx}$	$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{SCN} + 0,9 \cdot Q_{SCVx}$
ELÚpvx ULSpvx	$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{SCVx} + 1'5 \cdot 0,5 \cdot Q_{SCN}$	$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{SCVx} + 0,75 \cdot Q_{SCN}$
Combinación ELÚ sísmica ULS seismic combination		
ELÚsim ULSsim	$1 \cdot G + 1 \cdot A_{SIMxyz}$	$G + A_{SIMxyz}$

Imagen 4. Tabla de combinaciones. Fuente: elaboración propia. | Image 3. Table of combinations. Source: own elaboration.

Estados Límite de Servicio (ELS) | Serviceability Limit States (LSL)

En primer lugar, han de comprobarse las deformaciones verticales, utilizando la combinación cuasipermanente ELScpn, y multiplicando el resultado por 3 para considerar las deformaciones diferidas del hormigón armado. En segundo lugar, se comprueban los desplomes laterales, utilizando la combinación ELSpnn por ser la más desfavorable de las características. Las deformaciones verticales máximas vendrán condicionadas por la apariencia de la obra, tomando una flecha máxima de 1/300. Los desplomes máximos admisibles serán 1/500 de la altura.

First, the vertical deflections must be checked, using the quasi-permanent combination SLScpn, and multiplying the result by 3 to take into account the deferred deflections of the reinforced concrete. Secondly, the lateral slumps are checked, using the SLSpnn combination as it is the most unfavourable of the characteristics. The maximum vertical deflections will be conditioned by the appearance of the

work, taking a maximum deflection of 1/300. The maximum allowable deflections shall be 1/500 of the height.

Flechas | Deflections

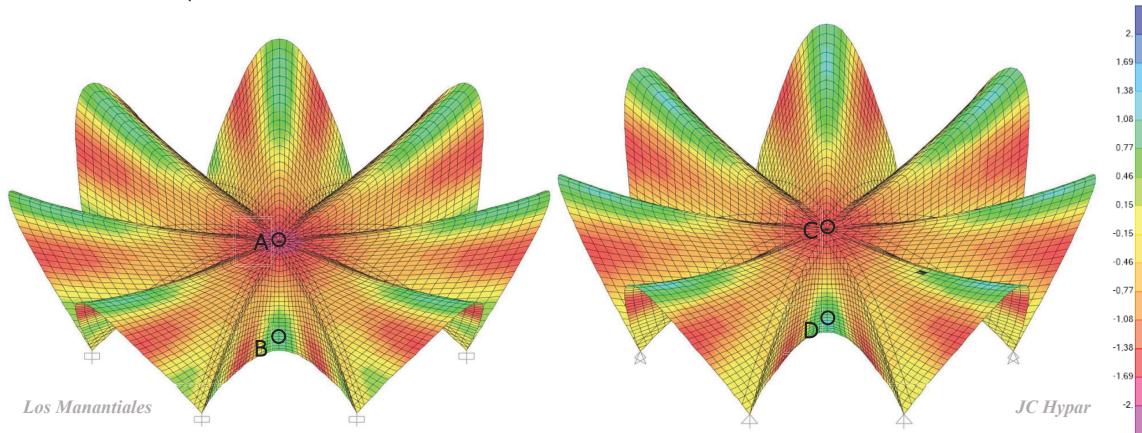


Imagen 5. Flechas. Fuente: elaboración propia. | Image 4. Deflections. Source: own elaboration.

Los Manantiales

- Deformaciones | Deflections → A: -1,922 mm | B: +1,025 mm

- $\Delta (U3) = + 1,922 + 1,025 = 2,947 \text{ mm}; 2,947 \cdot 3 = 8,84 \text{ mm}$

- $1/300 \cdot 2 \cdot d = 1/300 \cdot 2 \cdot 18,05 = 120,3 \text{ mm} > 8,84 \text{ mm}$ [CUMPLE | COMPLY]

JC Hypar

- Deformaciones | Deflections → C: -1,566 mm | D: +1,108 mm

- $\Delta (U3) = + 1,566 + 1,108 = 2,674 \text{ mm}; 2,674 \cdot 3 = 8,02 \text{ mm}$

- $1/300 \cdot 2 \cdot d = 1/300 \cdot 2 \cdot 18,50 = 123 \text{ mm} > 8,84 \text{ mm}$ [CUMPLE | COMPLY]

Ambas láminas cumplen holgadamente. Además, se comprueba que el aumento de espesor en la cubierta del Oceanográfico, comportando mayor peso, no ha producido deformaciones superiores a las de la lámina de Los Manantiales, probablemente por la mejor capacidad de los materiales.

Both sheets comply comfortably. In addition, it has been verified that the increase in thickness of the Oceanographic roof, which is heavier, has not produced greater deformations than those of the sheet of Los Manantiales, probably due to the greater capacity of the materials.

Desplome lateral | Lateral collapse

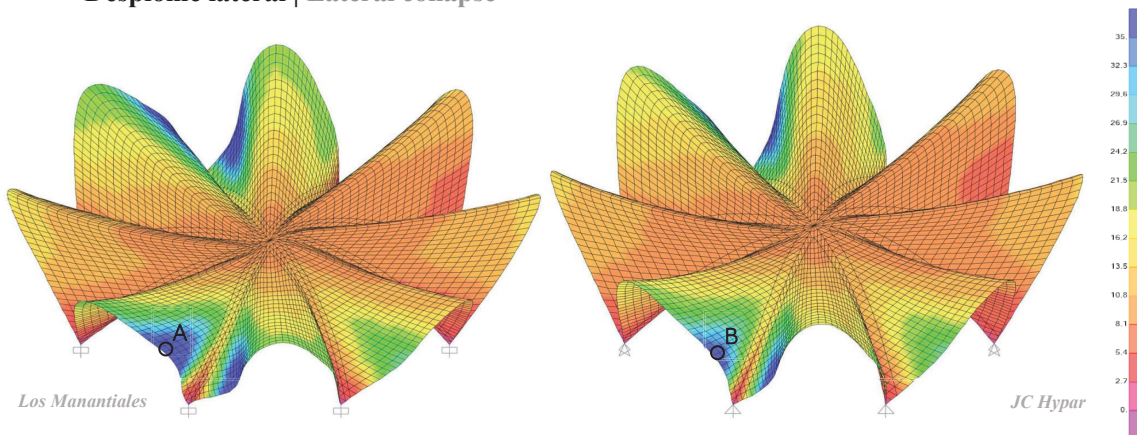


Imagen 6. Lateral Collapse. Fuente: elaboración propia. | Image 6. Lateral Collapse. Source: own elaboration.

- Deformaciones laterales | Lateral deflections → A: **+38,97 mm**

- $1/500 \cdot h = 1/500 \cdot 9,933 = 19,87 \text{ mm} < 38,97 \text{ mm}$ [NO CUMPLE | NOT COMPLY]

JC Hypar

- Deformaciones laterales | Lateral deflections → B: **+33,49 mm**

- $1/500 \cdot h = 1/500 \cdot 12,75 = 25,50 \text{ mm} < 33,49 \text{ mm}$ [NO CUMPLE | NOT COMPLY]

Comparando estos resultados con los anteriores, puede razonarse que este tipo de estructuras trabaja mucho mejor frente a cargas gravitatorias y es más vulnerable frente a acciones horizontales, como las de viento. Deformaciones que rondan los 3-4 cm podrían provocar daños en los muros cortina que cierran estas láminas, sin embargo, éstos también ayudarían a rigidizar la estructura, reduciendo el desplome lateral.

Comparing these results with the previous ones, it can be reasoned that this type of structure works much better against gravity loads and is more vulnerable to horizontal actions, such as wind loads. Deformations of around 3-4 cm could cause damage to the curtain walls which enclose these sheets, however, these would also help to stiffen the structure, reducing lateral collapse.

Estados Límite Últimos (ELÚ) | Ultimate Limit States (ULS)

Va a comprobarse si ambas estructuras son capaces de resistir los momentos flectores producidos por las acciones evaluadas, diferenciando entre los máximos positivos y negativos debidos a la combinación permanente ELÚpvx, por ser la más desfavorable. También se comprobará la resistencia frente a los momentos producidos por la combinación sísmica ELÚsim. Mediante la normativa y considerando las características de los materiales, los espesores y el armado de las láminas, se definen unos momentos máximos admisibles de $\pm 4,58 \text{ kN.m}$ para Los Manantiales y $\pm 14,67 \text{ kN.m}$ para la lámina del Oceanográfico.

It will be checked whether both structures are capable of resisting the bending moments produced by the actions assessed, differentiating between the positive and negative maxima due to the permanent combination ULSpvx, because this is the most unfavourable permanent combination. In addition, the resistance to the moments produced by the seismic combination ELÚsim will also be checked. By means of the regulations and considering the characteristics of the materials, the thicknesses and the reinforcement of the sheets, maximum admissible moments of $\pm 4.58 \text{ kN.m}$ for Los Manantiales and $\pm 14.67 \text{ kN.m}$ for the Oceanographic sheet are defined.

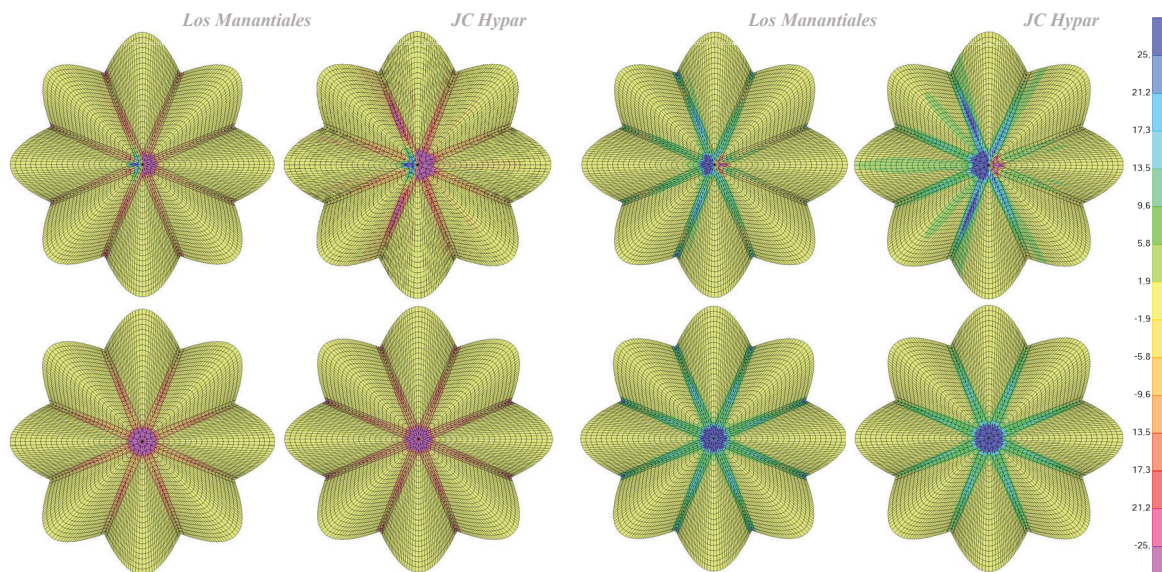


Imagen 7. Mmáx negativos ELÚpvx (arriba) y ELÚsim (abajo).
Fuente: elaboración propia. | Image 7. Mmax negative ULSpvx (top) and ULSSim (bottom). Source: own elaboration.

Imagen 8. Mmáx positivos ELÚpvx (arriba) y ELÚsim (abajo).
Fuente: elaboración propia. | Image 8. Mmax positive ULSpvx (top) and ULSSim (bottom). Source: own elaboration.

Atendiendo a los resultados, frente a ambas combinaciones las láminas muestran resultados similares. Los momentos flectores, ya sean debidos al viento o al sismo, se concentran en las zonas con mayor espesor, es decir, los nervios y el centro de la lámina. En estos puntos se alcanzan valores que superan los admisibles, y por tanto, ambas láminas NO CUMPLEN.

According to the results, the sheets show similar results for both combinations. The bending moments, whether due to wind or earthquake, are concentrated in the areas with the greatest thickness, this is, the ribs and the centre of the sheet. At these points, values that exceed the admissible values are reached, and therefore, both sheets DO NOT COMPLY.

Conclusiones | Conclusions

Este trabajo intenta aproximarse al comportamiento de este tipo de estructuras tan singulares, en este caso, dos de las obras más representativas de Félix Candela. Permite conocer más sobre las láminas de hormigón armado, las cuales, como se ha visto, trabajan eficientemente frente a cargas principalmente gravitatorias gracias a su naturaleza estable. Se ha comprobado que estas dos láminas no cumplirían con las exigencias de las normativas españolas actuales, máxime debido a las acciones horizontales de viento y sismo, las cuales producen momentos y deformaciones inadmisibles. Esto podría explicar algunas de las patologías que sufre actualmente la lámina de Xochimilco.

This work attempts to approach the behaviour of such unique structures, in this case, two of Félix Candela's most representative works. It allows us to learn more about the reinforced concrete sheets, which, as we have seen, work efficiently under mainly gravitational loads thanks to their stable nature. It has been shown that these two sheets would not meet the requirements of current Spanish regulations, especially due to horizontal wind and seismic actions, which produce inadmissible moments and deformations. This could explain some of the pathologies currently suffered by the Xochimilco sheet.

La lámina de Los Manantiales se encuentra actualmente en pésimas condiciones, sobre todo por el sismo que sacudió México el 19 de septiembre de 2017, que provocó que quedara parcialmente deformada. Además, debido a su abandono no se ha llevado a cabo ningún tipo de intervención para su restauración. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que ambas láminas se construyeron según las exigencias de cada época, y aunque la cubierta de Los Manantiales sufra mayores patologías que la del Oceanográfico, que no presenta problemas de importancia, ambas siguen en pie, lo que incide en la estabilidad de este tipo de estructuras.

The sheet of Los Manantiales is currently in terrible condition, especially due to the earthquake that shook Mexico on 19 September 2017, which caused it to be partially deformed. Moreover, due to its abandonment, no intervention has been carried out for its restoration. However, it should be borne in mind that both sheets were built according to the requirements of each period, and although the roof of Los Manantiales suffers greater pathologies than the Oceanographic shell, which has no major problems, both are still standing, which demonstrates the stability of this type of structures.



Imagen 9. Los Manantiales. Fuente: noticias.canal22.org.mx
Image 9. Los Manantiales. Source: noticias.canal22.org.mx



Imagen 10. Sobre Los Manantiales. Fuente: noticias.canal22.org.mx
Image 10. On Los Manantiales. Source: noticias.canal22.org.mx

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural. (2003). Construcción de la JCHYPAR, una lámina delgada de hormigón reforzado con fibras de acero, en el Oceanográfico de Valencia (N. 228–229). *Hormigón y Acero*.
- Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural. (2010, julio). Análisis estructural de algunas obras de Félix Candela mediante modelos de elementos finitos. *Hormigón y Acero*.
- Burger, N., & Billington, D. P. (2006, diciembre). FELIX CANDELA, ELEGANCE AND ENDURANCE: AN EXAMINATION OF THE XOCHIMILCO SHELL (N. 3). *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures: IASS*.
- Candela Outeriño, F., Peyri Macía, A., & Castañeda Tamborrell, E. (1968). Palacio de los Deportes. *Informes de la Construcción*, 21 (205), 6–12.
<https://doi.org/10.3989/ic.1968.v21.i205.3796>
- Cassinello, P., Schlaich, M., & Torroja, J. A. (2010). Félix Candela. En memoria (1910–1997). Del cascarón de hormigón a las estructuras ligeras del s. XXI. *Informes de la Construcción*, 62 (519), 5–26. <https://doi.org/10.3989/ic.10.040>
- Del Cueto Ruiz-Funes, J. I. (2016). Cien años de Félix Candela: Vuelos impensados. *Revista de la Universidad de México*, 82–90.
- Domingo, A., Lázaro, C., & Serna, P. (1999, septiembre). DESIGN OF A THIN SHELL STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE HYPAR ROOF. Universidad Politécnica de Valencia.
- Faber, C., & Candela, F. (1981). *Las estructuras de Candela*. Alianza Editorial.
- Félix Candela. Restaurante Los Manantiales, Xochimilco, Messico 1957–58. (2013, enero). *Casabella*, 821, 55–57.
- Goicolea Ruigómez, J. M. (2017). El formalismo de Félix Candela. Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.
- Lanzarote, B. S., Such, C. J., Bono, J. R., & Simó, M. S. (2019). *Laminoflexia*. Instituto Valenciano de la Edificación.
- Plaza, M. J. C., Candela, F., Centro Cultural del Conde Duque. Madrid, Fundación Juanelo Turriano, Universidad Politécnica de Madrid, & Centro Cultural del Conde Duque. (2010). *Félix Candela: La conquista de la esbeltez [centenario 2010]*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Savorra, M. (2013). *La forma e la struttura: Félix Candela, gli scritti*. Milano: Electa.
- Faber, C., & Candela, F. (1981). *Las estructuras de Candela*. Alianza Editorial.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CERCHAS HÍBRIDAS DEL MILSTEIN HALL (ITHACA, NEW YORK) FRENTE A OTRAS SOLUCIONES

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF THE HYBRID TRUSSES OF THE MILSTEIN HALL (ITHACA, NEW YORK) VS. OTHER SOLUTIONS

Quiteria Angulo Ibáñez

*Investigador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Asociado, Arquitecto. Doctora en Arquitectura por la UPV. E-mail: quianib@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València, Assistant Professor. Architect. PhD in Architecture by the UPV.*

George-Nikolas Caicedo-Pratt

Arquitecto / Architect

Abstract

Trusses are a very effective structural system to achieve good structural behavior, covering large spans, generating important cantilevers... These are mainly composed of an upper and a lower chord, joined by a set of profiles, generally in a diagonal position. Depending on the arrangement of the profiles between chords, the trusses will work one way or another. There are many types of trusses and generally the profiles between the chords are inclined, and in most cases with the same inclination, although there are also trusses with profiles perpendicular to the chords, which will greatly condition the behavior of the truss.

The structure of the Milstein Hall draws attention to the large trusses that make up the structure, which generate a large flown body with an imposing cantilever and large open spaces. The design of these large trusses is also striking, since they do not seem to be the most common. These give the impression of being a complex and optimized solution designed by the architects of OMA in charge of the Milstein Hall together with “Robert Silman Associates Structural Engineers”, those in charge of the structure of the building.

Keywords

Milstein Hall, Structure, Deformations, Vierendeel, Truss.

Introducción



Imagen 1. Edificio Milstein Hall. Fuente: Modlar.com Image 1. Milstein Hall Building. Font: Modlar.com

A continuación, se analizan las cerchas que componen la estructura del edificio Milstein Hall (Imagen 1) diseñado por OMA junto a los encargados de la estructura, Robert Silman Associates Structural Engineers, y se comparan con otras tipologías más comunes.

Se utiliza el programa SAP 2000 (CSI Spain, Licencia Estudiante UPV) para realizar el modelado de las estructuras, el cual permite obtener unos resultados que ayudan al posterior análisis y comparativa entre las diferentes configuraciones estructurales, y de esta manera poder realizar una crítica objetiva acerca de la solución adoptada en la estructura original.

Introduction

The trusses that make up the structure of the Milstein Hall building (Image 1) designed by OMA together with those in charge of the structure, Robert Silman Associates Structural Engineers, are analyzed and compared with other more common typologies.

The SAP 2000 program (CSI Spain, UPV Student License) is used to carry out the modeling of the structures, which allows obtaining results that help the subsequent and comparative analysis between the different structural configurations, and in this way to be able to carry out an objective criticism about the solution adopted in the original structure.

Propósito

El propósito de este análisis y comparativa pretende explicar el complejo diseño de la estructura de este edificio, concretamente las cerchas que la componen, las cuales reciben el nombre de Cerchas Híbridas, puesto que se trata de una configuración que combina otras tipologías de cerchas más comunes, como son la Cercha Convencional y a Cercha Vierendeel. De esta manera entender a qué criterios responde y si con otras soluciones se podrían obtener o no los mismos resultados, y si es así, que ventajas o inconvenientes presentan. Principalmente, se pretende responder a las siguientes cuestiones, ¿Por qué no se ha optado por una solución más común o sencilla? ¿Es realmente una solución optimizada?

Aim

The purpose of this analysis and comparison aims to explain the complex design of the structure of this building, specifically the trusses that compose it, which are called Hybrid Trusses, since it is a configuration that combines other types of trusses more common, such as the Conventional Truss and

the Vierendeel Truss. In this way, understand what criteria it responds to and whether with other solutions the same results could be obtained, and if so, what advantages or disadvantages they present. Mainly, it is intended to answer the following questions, why hasn't a more common or simple solution been chosen? Is it really an optimized solution?

Modelización

Después de realizar un exhaustivo análisis acerca del edificio y su estructura, se procede a realizar la modelización del mismo en SAP2000 (CSI Spain, Licencia Estudiante UPV) . Puesto que el objeto de estudio son las cerchas, se modeliza la estructura del edificio a partir de la planta baja, obviando la estructura que hay bajo. Debido a esto, la base de la modelización se diseña como uniones empotradas, simulando el comportamiento real que tendría con el resto de la estructura inferior.

La estructura analizada está compuesta por elementos metálicos. En el modelado se han asignado los tipos de secciones originales. Se usan secciones W para casi la totalidad de la estructura del edificio, a excepción de unos cables de sección maciza para sujetar un tramo inclinado en medio de la planta primera, y los forjados son de chapa colaborante. Respecto de la caja de escaleras de emergencia anexa al edificio se usan perfiles de sección W, perfiles tubulares y en U.

Tanto a la modelización del edificio con las cerchas híbridas originales como a la modelización con cerchas convencionales se les asignan las mismas secciones a todos los grupos de elementos estructurales. Sin embargo, en el caso de la modelización con cerchas vierendeel, debido a la diferencia de comportamiento estructural, para cumplir con los requisitos impuestos por las normativas aplicadas, los cordones de las cerchas se han debido de redimensionar asignando perfiles de mayor tamaño que en los casos anteriores. Las diferentes configuraciones de las asignaciones de perfiles se ven a continuación.

- Modelización Cerchas Híbridas y modelización Cerchas convencionales:

Planta Baja	Planta primera	Planta segunda. Cubierta	Escaleras de emergencia
Pilares : W14x730	Vigas : W24x103 Viguetas : W21x50 Pilares : W14x730 Perfiles inclinados de las cerchas : W24x250 Vigas - tramo de forjado inclinado : W21x50 Viguetas - tramo de forjado inclinado : W12x50 Cables – sujeción tramo de forjado inclinado : Perfil tubular cuadrado macizo 50x50mm	Vigas : W24x103 Viguetas : W21x50	Pilares : TS6x6x1/2 & W6x15 Vigas de atado perimetrales : TS6x6x1/2 Viguetas descansillos : W6x15 Zancas interiores : C8x11,5 Zancas exteriores : C6x8,2 Viguetas cubierta : TS6x6x1/2 Rigidizadores fachada : TS6x6x1/2 Rigidizadores cubierta : TS6x6x1/2

- Modelización Cerchas Vierendeel:

Planta Baja	Planta primera	Planta segunda.	Escaleras de Cubierta emergencia
Pilares : W14x730	Vigas : W44x285 Viguetas : W21x50 Pilares : W14x730 Perfiles inclinados de las cerchas : W24x250 Vigas - tramo de forjado inclinado : W21x50 Viguetas - tramo de forjado inclinado : W12x50 Cables – sujeción tramo de forjado inclinado : Perfil tubular cuadrado macizo 50x50mm	Vigas : W44x285 Viguetas : W21x50	Pilares : TS6x6x1/2 & W6x15 Vigas de atado perimetrales : TS6x6x1/2 Viguetas descansillos : W6x15 Zancas interiores : C8x11,5 Zancas exteriores : C6x8,2 Viguetas cubierta : TS6x6x1/2 Rigidizadores fachada : TS6x6x1/2 Rigidizadores cubierta : TS6x6x1/2

Para el diseño y cálculo de la estructura se aplican las normativas vigentes en el momento de construcción del edificio y correspondientes a su posición geográfica. Este fue construido entre el año 2006 y 2011 en Estados Unidos, concretamente en la localidad de Ithaca, Nueva York. Por lo tanto, han sido de aplicación las normativas norteamericanas 2010 Building Code of New York, ASCE/SEI 7-16 y ANSI/AISC 360-16, de donde se obtienen las cargas que han de asignarse al edificio y también los límites que han de imponerse a la estructura respecto a deformaciones y resistencia. Las cargas que se han asignado a la estructura son las siguientes:

Cargas Permanentes

Cubierta (Sustrato, Membrana drenante, Aislamiento)	0,82kN/m ²
Fachada (Muro cortina, panel de mármol)	1,74kN/m
Falso Techo (Instalaciones eléctricas, aislamiento, panel metálico)	0,20kN/m ²

Cargas Variables

Sobrecargas de uso	
Vestíbulos y pasillos	4,79 kN/m ²
Oficinas	2,40 kN/m ²
Escaleras y salidas de emergencia	4,79 kN/m ²
Cubierta	0,96 kN/m ²
Cargas de Nieve	1,33 kN/m ²
Cargas de Lluvia	0,49 kN/m ²
Cargas de Viento	

En la Tabla 1 se representan las presiones del viento sobre el edificio. Las diferentes zonas corresponden con las mostradas en la Imagen 2, extraída de la ASCE/SEI 7-16, la cual explica cómo aplicar las cargas del viento en cada esquina del edificio donde incide el viento.

PRESIONES HORIZONTALES				PRESIONES VERTICALES				VOLADIZOS	
A	B	C	D	E	F	G	H	E _{oh}	G _{oh}
22.80	-11.90	15.10	-7.00	-27.40	-15.60	-19.10	-12.10	-38.40	-30.10
1.09	-0.57	0.72	-0.34	-1.31	-0.75	-0.91	-0.58	-1.84	-1.44

lb/ft²
kN/m²

Tabla 1. Presiones del viento. Fuente: Autor
Image 2. Wind pressures. Font: Author

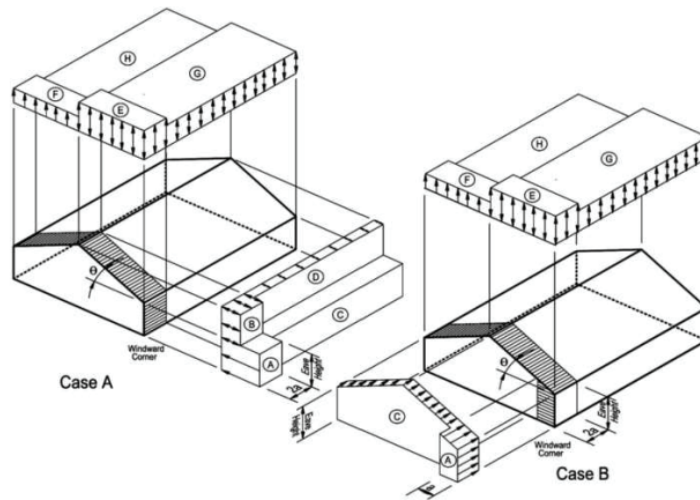


Imagen 2. Principal sistema resistente a la fuerza del viento. Fuente: ASCE/SEI 7-16
Image 2. Main wind force resisting system. Font: ASCE/SEI 7-16

Cargas Accidentales

Después de realizar las correspondientes comprobaciones, debido a la situación del edificio, no son de aplicación las cargas accidentales de sismo, tsunamis ni inundaciones.

Respecto a las deformaciones, se han impuesto las limitaciones que se muestran en la imagen 3 para cumplir con los Estados Límite de Servicio.

CONSTRUCTION	L	S or W ^f	D+L ^{d,g}
Roof members: ^e			
Supporting plaster ceiling	//360	//360	//240
Supporting nonplaster ceiling	//240	//240	//180
Not supporting ceiling	//180	//180	//120
Floor members	//360	-	//240
Exterior walls and interior partitions:			
With brittle finishes	-	//240	-
With flexible finishes	-	//120	-
Farm buildings	-	-	//180
Greenhouses	-	-	//120

Imagen 3. Límites de flecha para Estados Límite de Servicio. Fuente: 2010 Building Code of New York
Image 3. Serviceability Limit State deflection limits. Font: 2010 Building Code of New York

Modeling

After conducting an exhaustive analysis of the building and its structure, it is modeled in SAP2000 (CSI Spain, UPV Student License). Since the object of study are the trusses, the structure of the building is modeled from the ground floor, ignoring the structure underneath. Due to this, the modeling base is designed as embedded joints, simulating the real behavior that it would have with the rest of the underneath structure.

The analyzed structure is composed of metallic elements. In modeling, the original section types have been assigned. W sections are used for almost the entire structure of the building, except for solid section cables to hold an inclined section in the middle of the first floor, and the floors are made of collaborative sheet metal. Regarding the box of emergency stairs attached to the building, W section profiles, tubular and U profiles are used.

Both the building modeling with the original hybrid trusses and the conventional truss modeling are assigned the same sections to all groups of structural elements. However, in the case of modeling with vierendeel trusses, due to the difference in structural behavior, to comply with the requirements imposed by the applied regulations, the chords of the trusses have had to be resized, assigning larger profiles than in the previous cases. The different configurations of the profile assignments are seen below.

- Modeling Hybrid Trusses and modeling Conventional trusses:

Ground Floor	First Floor	Second Floor. Roof	Emergency stairs
Pillars: W14x730	Beam: W24x103 Joists: W21x50 Pillars: W14x730 Trusses inclined profiles: W24x250 Beams – inclined section: W21x50 Joists - inclined: W12x50 Cables – inclined section: Solid square tubular profile 50x50mm	Beams: W24x103 Joists: W21x50	Pillars: TS6x6x1/2 & W6x15 Perimeter tie beams: TS6x6x1/2 Landing joists: W6x15 Interior stringers: C8x11,5 Exterior stringers: C6x8,2 Deck joists: TS6x6x1/2 Facade stiffeners: TS6x6x1/2 Deck stiffeners: TS6x6x1/2

- Modeling Vierendeel Trusses:

Ground Floor	First Floor	Second Floor. Roof	Emergency stairs
Pillars: W14x730	Beam: W44x285 Joists: W21x50	Beams: W24x103 Joists: W21x50	Pillars: TS6x6x1/2 & W6x15 Perimeter tie beams: TS6x6x1/2

Pillars: W14x730	Landing joists: W6x15
Trusses inclined profiles: W24x250	Interior stringers: C8x11,5
Beams – inclined section: W21x50	Exterior stringers: C6x8,2
Joists - inclined: W12x50	Deck joists: TS6x6x1/2
Cables – inclined section: Solid square tubular profile 50x50mm	Facade stiffeners: TS6x6x1/2
	Deck stiffeners: TS6x6x1/2

For the design and calculation of the structure, the regulations in force at the time of construction of the building and corresponding to its geographical position are applied. This was built between 2006 and 2011 in the United States, specifically in the town of Ithaca, New York. Therefore, the North American regulations 2010 Building Code of New York, ASCE / SEI 7-16 and ANSI / AISC 360-16 have been applied, from which the loads to be assigned to the building and also the limits to be imposed on the structure regarding to deformations and resistance. The loads that have been assigned to the structure are the following:

Permanent Loads

Roof (Sustrato, Membrana drenante, Aislamiento)	0,82kN/m ²
Facade (Muro cortina, panel de mármol)	1,74kN/m
Ceiling (Instalaciones eléctricas, aislamiento, panel metálico)	0,20kN/m ²

Variable Loads

Live Loads	
Lobbies and corridors	4,79 kN/m ²
Offices	2,40 kN/m ²
Stairs and fire escapes	4,79 kN/m ²
Roofs	0,96 kN/m ²
Snow Loads	1,33 kN/m ²
Rain Loads	0,49 kN/m ²

Wind Loads

Table 1 represents the wind pressures on the building. The different zones correspond to those shown in Image 2, extracted from ASCE / SEI 7-16, which explains how to apply wind loads to each corner of the building where the wind affects.

Accidental Loads

After carrying out the corresponding checks, due to the situation of the building, the accidental loads of earthquakes, tsunamis or floods are not applicable.

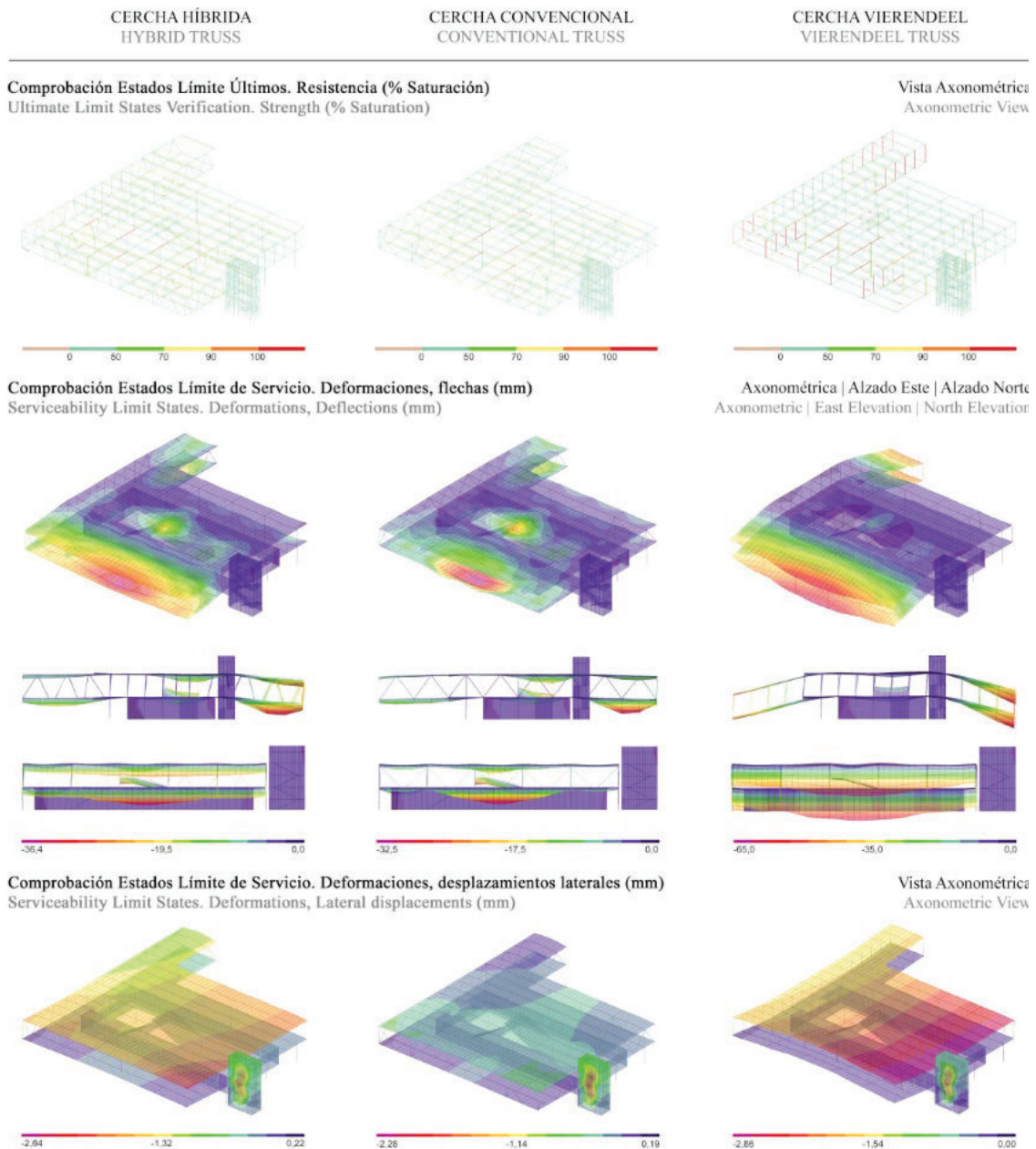
Regarding to deflections, the limitations shown in Image 3 have been imposed to comply with the Serviceability Limit States

Resultados

A continuación, se muestran los resultados gráficos, extraídos de SAP2000 (CSI Spain, Licencia UPV), donde se muestran los diferentes comportamientos que presentan las tres opciones, frente a Estados Límite Últimos como a Estados Límite de Servicio, cumpliendo todas ellas con los criterios de diseño impuestos por las normativas aplicadas.

Results

Now, the graphical results are shown, extracted from SAP2000 (CSI Spain, UPV Student License), where the different behaviors that the three options presents are shown, compared to Ultimate Limit States and Serviceability Limit States, all of them complying with the design criteria imposed by the applied standards.



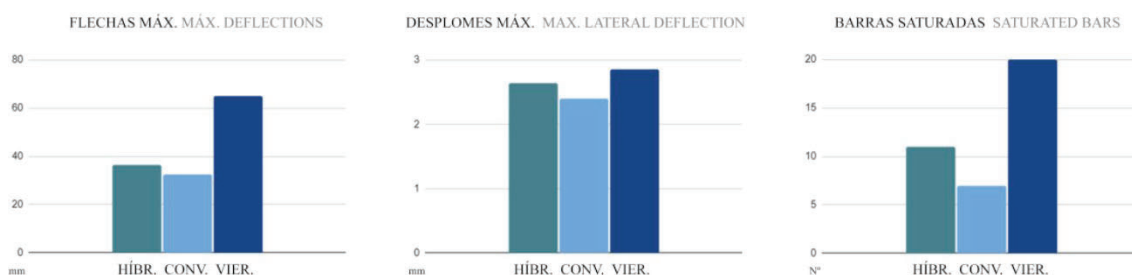
Conclusiones

Respecto al comportamiento estructural, la tipología convencional es la que mejor funciona, aunque el de la híbrida apenas se diferencia de esta. Sin embargo, la vierendeel sí que tiene un comportamiento bastante más desfavorable, debido a la ausencia de barras diagonales, las cuales son las que ayudan a soportar y transmitir las compresiones y tracciones entre los cordones de las cerchas. De esta manera, han de ser los cordones los que resistan estos esfuerzos, y para ello se ha de aumentar la altura del perfil para proporcionar mayor rigidez en el plano principal de flexión, y así reducir las deformaciones por flecha, las mas desfavorables.

OMA pretende crear un grandes espacios diáfanos y flexibles donde los diferentes ámbitos de trabajo y estudiantes de la escuela interaccionen entre ellos. Frente a este criterio, la tipología que mejor funciona es la vierendeel, debido a la verticalidad de las barras, que apenas obstaculizan el paso entre las cerchas, siendo la convencional la que peor responde a este criterio.

Sin embargo, la vierendeel junto a la híbrida suponen un mayor uso de material respecto a la convencional, encareciendo la obra, aumentando la producción, transporte... y repercutiendo en el impacto medioambiental.

Concluyendo, se considera que la tipología de cerchas híbridas es la solución que mejor responde al conjunto de criterios estructurales como funcionales que pretende resolver OMA, juntando un buen comportamiento estructural con un sistema que permite una gran flexibilidad e interacción entre espacios.



Conclusions

Regarding the structural behavior, the conventional typology is the one that works best, although the hybrid type hardly differs from it. However, the vierendeel does have a much more unfavorable behavior, due to the absence of diagonal bars, which are what help to support and transmit the compressions and tractions between the truss chords. In this way, the cords must be those that resist these stresses, and for this the height of the profile must be increased to provide greater rigidity in the principal plane of bending, and thus reduce the deflection deformations, the most unfavorable.

OMA aims to create large, open, and flexible spaces where the different work environments and students at the school interact with each other. Faced with this criterion, the type that works best is the vierendeel, due to the verticality of the bars, which barely obstruct the passage between the trusses, the conventional one being the one that responds the worst to this criterion.

However, the vierendeel together with the hybrid means a greater use of material compared to the conventional one, making the work more expensive, increasing production, transport ... and having an impact on the environmental impact.

In conclusion, it is considered that the hybrid truss typology is the solution that best responds to the set of structural and functional criteria that OMA intends to solve, combining good structural behavior with a system that allows great flexibility and interaction between spaces.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- American Society of Civil Engineers. (2017). *ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures* (Revisado ed.). American Society of Civil Engineers.
- American Institute of Steel Construction. (2019). *ANSI/AISC 360 -16 Specification for Structural Steel Buildings* (Revisado ed.). American Institute of Steel Construction.
- Ochshorn, J. (2012). *Jonathan Ochshorn - Critique of Milstein Hall*. Copyright © 2012 J. Ochshorn. <https://jonochshorn.com/scholarship/writings/milstein-critique/sustainability8.html>
- *Milstein Hall*. (s. f.-b). Flickr. Recuperado 12 de septiembre de 2021, de <https://www.flickr.com/photos/cornellaap/collections/72157619558116408/>
- *OMA, Iwan Baan · Milstein Hall*. (s. f.). Divisare. Recuperado 11 de septiembre de 2021, de <https://divisare.com/projects/327909-oma-iwan-baan-milstein-hall>
- UpCodes. (s. f.). *Searchable platform for building codes*. Recuperado 14 de septiembre de 2021, de https://up.codes/viewer/new_york/ny-building-code-2010/chapter/16/structural-design#16
- *Average Weather in Ithaca, New York, United States, Year Round - Weather Spark*. (s. f.). Weather Spark. Recuperado 10 de agosto de 2021, de <https://weatherspark.com/y/22130/Average-Weather-in-Ithaca-New-York-United-States-Year-Round>
- *Ithaca topographic map, elevation, relief*. (s. f.). Topographic-Map.Com. Recuperado 13 de agosto de 2021, de <https://en-gb.topographic-map.com/maps/jqqi/Ithaca/>
- *Ithaca, NY - Official Website | Official Website*. (s. f.). City of Ithaca - New York. Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://www.cityofithaca.org/>
- Barton & Loguidice, D.P.C., EcoLogic LLC, T.G. Miller, P.C. Engineering & Surveyors, & Watts Architecture & Engineering. (2020, febrero). *Local Flood Hazard Analysis (LFHA). City of Ithaca*. Barton & Loguidice, D.P.C. <https://www.cityofithaca.org/DocumentCenter/View/11208/Local-Flood-Hazard-Analysis---City-of-Ithaca---February-2020>
- Gamez, M. J. (s. f.). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Desarrollo Sostenible. Recuperado 19 de septiembre de 2021, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- impatientsearch. (2010a, octubre 12). *The Construction of Milstein Hall - Part 2 Substructure* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=DMX5jo-VUAI>
- impatientsearch. (2010, 28 noviembre). *The Construction of Milstein Hall - Part 5 Steel Superstructure* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=tDjCIhzN_iE&t=462s

DE LA PREFABRICACIÓN A LA INDUSTRIALIZACIÓN

FROM PREFABRICATION TO INDUSTRIALIZATION

Cristina Gracia Lanzarote

Arquitecta Técnico / Building Engineer

Igor Fernández Plazaola

Dr. Ingeniero de Edificación · Director Máster en Edificación · Máster en Project Management

I3B Instituto de investigación e innovación en bioingeniería

Dpto. de Organización de empresas; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia

Profesor Ayudante Doctor. E-mail: iplazaola@doe.upv.es

Abstract

The concepts of industrialised and prefabricated systems are not standardised at a national or even international level. The aim of this research paper is to achieve standards and a defined classification based on the evolution of industrialised and prefabricated systems up to nowadays. The most important part is the analysis of these systems and their classification, since this is where the processes are conceived from the initial phase. Thanks to this analysis, the terms related to these systems, both industrialised and prefabricated, are introduced. In addition, thanks to the large number of sources consulted, reliable standardised concepts for the systems and a definitive classification proposal have been obtained.

The work is mainly based on the terminology off-site, modern methods of construction (MMC) and offsite manufacturing (OSM). As a result, the classifications are based on these terminologies.

Keywords

Off-site; Industrialised; Prefabricated; Modern methods of construction (MMC); Offsite manufacturing (OSM)

Introducción

Los sistemas constructivos generalistas, poco han variado en los últimos 2.000 años. La construcción sigue siendo un sector tremendamente intensivo en mano de obra, muy artesanal y escasamente tecnificado. El hormigón profusamente utilizado en los últimos 100 años ya fue inventado y empleado por los romanos en sus obras de ingeniería que admiramos hoy en día. Los plazos de ejecución de los romanos para el coliseo y otras obras difícilmente podrían ser igualados hoy. Algunas filigranas técnicas romanas, en cuanto a dimensiones, luces, carga, aforo precisan hoy en día de todo nuestro ingenio, y de todo esto hace más de 2.000 años.

En la actualidad, el sector de la construcción en España tiene en su mano la opción de elegir entre la evolución del mercado, teniendo como referente al mercado industrial, o, por el contrario, quedarse con los métodos de construcción tradicionales que llevan desarrollándose desde las primeras construcciones prehistóricas. Las nuevas incorporaciones al sector de la construcción mediante nuevos métodos aportan al mismo gran cantidad de beneficios, tanto a los trabajadores del sector como a los clientes finales.

Estos nuevos métodos integran los sistemas de construcción industrializados, y sistemas de construcción prefabricados, muy en auge en los países del norte de Europa, como Suecia o Finlandia, 40-50% frente a la tradicional. Así mismo, en el centro de Europa, Alemania 9% y Reino Unido 5% siguen sus pasos a la industrialización en un menor porcentaje de implantación, aunque muy en auge también.

A través de esta investigación se pretende realizar una síntesis de los sistemas industrializados y sistemas prefabricados, así como las principales diferencias y similitudes entre ellas. Además, se acomete el estudio de la clasificación de dichos sistemas en la actualidad, ya que no hay una terminología ni clasificación estándar para estos sistemas.

El objetivo principal de este trabajo se trata de obtener una propuesta para una terminología específica para los términos “prefabricación” e “industrialización”, ambos aplicados al sector de la construcción. Frente la diversidad de mercados que existen a nivel internacional, dichos términos se plasman con el fin de estandarizarlos y promoverlos, para conseguir un mercado homogéneo.

Así mismo, otro de los objetivos alcanza la propuesta de una clasificación para los sistemas industrializados y prefabricados. Del mismo modo, mediante la estandarización y promoción de la clasificación de sistemas se podrá desarrollar una normativa en común de aplicación a los proyectos que incorporen dichos sistemas.

Introduction

General building systems have changed little over the last 2,000 years. Construction is still a highly labour-intensive, highly artisanal, and low technology sector. The concrete used extensively in the last 100 years was already invented and used by the Romans in their engineering works that we admire nowadays. The Roman time schedule for the Colosseum and other works could hardly be matched today. Some Roman technical details, in terms of dimensions, spans, loading and seating capacity, require all our intelligence today, and all this more than 2,000 years ago.

Today, the building industry in Spain has a choice between the evolution of the market, with the industrial sector as a reference point, or, on the contrary, to stick to the traditional building methods that have been developed since the first prehistoric constructions. The new methods that have been introduced into the building sector bring many benefits to the sector, both for the workers in the sector and for the end clients.

These new methods include industrialised construction systems and prefabricated construction systems, which are on the rise in northern European countries such as Sweden and Finland, 40-50% compared to traditional construction. Furthermore, in the centre of Europe, Germany 9% and the United Kingdom 5% are following in the footsteps of industrialisation with a lower percentage of implantation, though also on the rise.

The aim of this research is to make a synthesis of industrialised systems and prefabricated systems, as well as the main differences and similarities between them. In addition, a research on the

classification of these systems at present is undertaken, as there is no standard terminology or classification for these systems.

The main objective of this work is to obtain a proposal for a specific terminology for the terms "prefabrication" and "industrialisation", both applied to the construction sector. Due to the diversity of markets that exist on an international level, these terms are used to standardise and promote them, in order to achieve a homogeneous market.

Another objective is to propose a classification for industrialised and prefabricated systems. In the same way, through the standardisation and promotion of the classification of systems, it will be possible to develop a standard that can be applied to projects that incorporate these systems.

Revisión bibliográfica

Entidades o Corporaciones de desarrollo e investigación

Hoy en día, no hay una entidad oficial reconocida que regule a nivel global (nacional o mundial) el tipo de metodología constructiva en estudio, las líneas de producto ni las actividades que forman el proceso. Si es cierto que, a un nivel más reducido, en ciertos países a nivel nacional existen organizaciones públicas o privadas que fomentan la supervisión o asesoramiento de métodos de construcción específicos.

La creación de entidades nacionales privadas es relativamente reciente, mientras que, a nivel internacional, son de creación antigua con origen en el siglo pasado. La presencia de estas entidades en otros países de referencia es de gran ayuda para la evolución del sector industrializado y prefabricado, se puede entender esta causa como ayuda al proceso de desarrollo en la implantación de dichos sistemas a nivel internacional.

De este modo, se espera que la aparición de las entidades nacionales enumeradas haga efecto sobre el mercado español.

Definiciones de sistemas prefabricados e industrializados

Previamente a introducir los sistemas, se debe puntualizar que, dependiendo del concepto de cada entidad u organismo, se pueden llegar a fundir y confundir ambos sistemas, el prefabricado y el industrializado. Hoy en día no hay una definición y una clasificación estandarizada que sirva para todo el sector a nivel mundial, por lo que varía según criterios.

Con carácter general, el término principal en estos sistemas y el más empleado es *offsite*. Las entidades, empresas y organizaciones lo emplean tanto para sistemas industrializados como para prefabricados. La traducción literal del término es fuera del sitio, es por ello por lo que es el principal término para construcciones fabricadas fuera del emplazamiento final. En algunos casos, complementariamente se puede encontrar el término *onsite*, es decir, dentro del sitio. Dentro de la terminología hay diferentes variantes, como son los procesos, la construcción, y la producción, entre otros.

Se observa cómo con el término *offsite* no hay una homogeneidad ortográfica en el mismo, ya que cada entidad lo escribe de forma diferente. Cada una de ellas, establece el término dentro de la misma dirección, aunque algunas puntualizan más como el *buildoffsite* (Gibb & Pendlebury, 2006) con la producción y el proceso (OSP), o la revista *The Choice Factory* (KIER, 2019) con la fabricación (OSM).

Dentro del término *offsite*, se incorpora en español el conjunto de sistemas de construcción industrializada, la cual la definen en el libro *Industrialización en la vivienda - 15 propuestas flexibles y de calidad*. (Proyecto MANUBUILD, 2009) como aquellos donde los componentes que entran a formar parte del sistema para construir una edificación son fabricados industrialmente en un lugar distinto al del emplazamiento de obra y, posteriormente, trasladados a éste para ser montados y ensamblados.

En base a las definiciones anteriores se puede decir que el término *offsite* y el PMC tratan el mismo concepto con definiciones similares. A modo de resumen, como bien dice Robinson en su

tesis doctoral (2019) son muchos los términos que se utilizan para describir los procesos de construcción que se inician fuera de las instalaciones y en una fábrica. Históricamente se ha utilizado mucho el término "prefabricación" (Anderson & Anderson 2007; Smith 2011), pero entre los términos más recientes se encuentran modern methods of construction (MMC) (Lusby-Taylor et al 2004; Pan & Goodier 2011; Nadim 2012), off-site manufacturing (OSM) (BURA 2005), offsite production (OSP) (Nadim & Goulding 2010), standardisation and preassembly (Gibb & Pendlebury 2006), modular construction (Smith 2010; Lawson et al 2014), mass customisation (Pine 1999) y design for manufacture and assembly (DfMA) (Boothroyd 1994).

Clasificación de sistemas

Esta clasificación se centra en las diferentes tipologías de capacidad de fabricación y montaje, así como la tipología de material empleado según las necesidades. Así mismo, en varias ocasiones, las clasificaciones se repiten, por lo tanto, las más citadas son las que mayor peso tienen de cara a los resultados finales.

Los términos construcción offsite, métodos modernos de construcción (MMC) y diseño para la fabricación y el montaje (DfMA) describen aspectos ligeramente diferentes de las técnicas de construcción. A través de la Imagen 1, se visualiza de forma más sencilla el esquema de los sistemas.

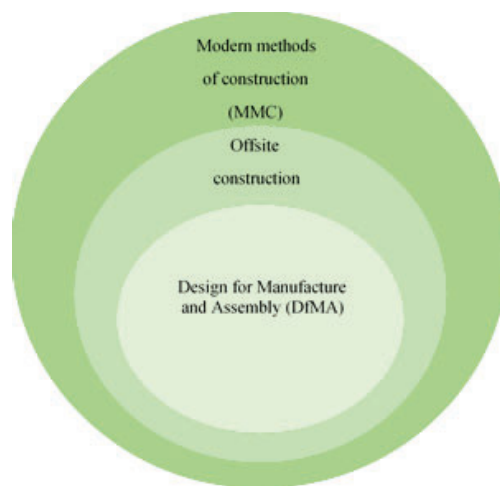


Imagen 1. Esquema de los términos de los sistemas industrializados. Fuente (Jasen van Vuuren & Middleton, 2020).

Image 1. Outline of industrialised systems terms

- *Modern methods of construction* (MMC): Término amplio que abarca la construcción inteligente, las herramientas y técnicas digitales y la construcción fuera del emplazamiento (MHCLG, 2019).
- *Offsite construction*: Método de construcción en el que los componentes, elementos o módulos se construyen lejos del lugar de construcción y luego se llevan al lugar para ser instalados en su posición (Gibb y Pendlebury, 2013).
- *Design for Manufacture and Assembly* (DfMA): El proceso de adquisición y diseño de un proyecto para que una parte significativa de las obras pueda ser construida en condiciones de fábrica y luego llevada al sitio para su montaje (RIBA, 2016).

Las diferentes entidades proponen clasificaciones de MMC y OSM, por lo que se deberían diferenciar a la hora de su análisis. Como bien se recoge en la publicación *A classification system for representation of off-site manufacturing concepts through virtual prototyping*, OSM es el componente clave de MMC, y por supuesto, MMC no es un fenómeno nuevo. MMC es el término que engloba todas las técnicas de OSM, fabricación in situ y construcción tradicional que se utilizan hoy en día (Abosaod, Underwood, Isikdag, & Barony, 2010).

Estate of the art

Entities or Corporations of development and investigation

Today, there is no recognised official body that regulates at a global level (national or worldwide) the type of construction methodology under study, the product lines and the activities that make up the process. It is true that, on a smaller level, in some countries at the national level, there are public or private organisations that promote the supervision or advice of specific construction methods.

The creation of private national bodies is relatively recent, whereas, at international level, they are older dating back to the last century. The existence of these entities in other countries of reference is of considerable support for the evolution of the industrialised and prefabricated sector, and this be an aid to the process of development in the implementation of these systems at an international level.

Therefore, it is expected that the appearance of the listed national entities will influence the Spanish market.

Definitions of prefabricated and industrialised systems

Before introducing the systems depending on the concept of each entity or organisation, the two systems, prefabricated and industrialised, can be merged and confused. Nowadays, there is not a standardised definition and classification that can be used for the whole sector worldwide, so it varies according to criteria.

In general, the main and most used term for these systems is offsite. Entities, companies, and organisations use it for both industrialised and prefabricated systems. The meaning of the term offsite, is the main term for constructions manufactured away from the final site. In some cases, the term onsite, which means within the site, can be found as a complementary term. Within the terminology there are different variants, such as processes, construction, and production, among others.

It can be seen that there is no orthographic standardisation of the term offsite, as each entity spells it differently. Each of them establishes the term within the same direction, although some of them are more specific, such as buildoffsite (Gibb & Pendlebury, 2006) with production and process (OSP), or the magazine The Choice Factory (KIER, 2019) with manufacturing (OSM).

Inside the term offsite, the term industrialised building systems is incorporated in Spanish, which is defined in the book *Industrialización en la vivienda - 15 propuestas flexibles y de calidad* (Industrialisation in housing - 15 flexible and quality proposals). (Proyecto MANUBUILD, 2009) as those where the components that form part of the system for constructing a building are industrially manufactured in a place other than the construction site and subsequently transferred to the site for assembly.

Based on the previous definitions, it can be said that the term offsite and PMC deal with the same concept with similar definitions. To summarise, as Robinson rightly states in his PhD thesis (2019) there are many terms used to describe construction processes that start offsite and in a factory. Historically the term 'prefabrication' has been widely used (Anderson & Anderson 2007; Smith 2011), but more recent terms include modern methods of construction (MMC) (Lusby-Taylor et al 2004; Pan & Goodier 2011; Nadim 2012), off-site manufacturing (OSM) (BURA 2005), offsite production (OSP) (Nadim & Goulding 2010), standardisation and pre-assembly (Gibb & Pendlebury 2006), modular construction (Smith 2010; Lawson et al 2014), mass customisation (Pine 1999) and design for manufacture and assembly (DfMA) (Boothroyd 1994).

Systems classification

This classification is based on the different types of manufacturing and assembly capacity, as well as the type of material used according to requirements. Also, on several occasions, the classifications are repeated, so the most frequently cited are the ones that carry the most weight in the results.

The terms offsite construction, modern methods of construction (MMC) and design for manufacture and assembly (DfMA) describe slightly different aspects of construction techniques. Image 1 provides a simpler overview of the systems.

- Modern methods of construction (MMC): Broad term encompassing intelligent construction, digital tools and techniques and offsite construction (MHCLG, 2019).
- Offsite construction: A method of construction in which components, elements or modules are built away from the construction site and then transported to the site to be installed in position (Gibb and Pendlebury, 2013).
- Design for Manufacture and Assembly (DfMA): The process of procuring and designing a project so that a significant part of the works can be built in factory conditions and then brought to site for assembly (RIBA, 2016).

Different entities propose classifications of MMC and OSM, so they should be differentiated when analysing them. As stated in the publication A classification system for representation of off-site manufacturing concepts through virtual prototyping, OSM is the key component of MMC, and of course, MMC is not a new concept. MMC is the generic term for all OSM, on-site manufacturing and traditional construction techniques in use today (Abosaod, Underwood, Isikdag, & Barony, 2010).

Materials and Methods

The methodology used in this research has been the search, analysis and comparison of resources such as published books, journals of different associations or public or private organisations from different countries, digital newspaper publications, extracts from research publications, as well as resources from private companies.

Due to the diversity of concepts that have been seen throughout the research, it could be said that the main selection criteria adopted in the methodology has been the choice of updated and widely repeated concepts cited by private and public entities or organisations, with great influence and seniority in the sector. Moreover, the repetition of the same concepts has been another of the reasons for the choice of this concept.

Material y métodos

La metodología empleada en la presente investigación ha sido la búsqueda, análisis y comparación de recursos como libros publicados, revistas de diferentes asociaciones u organizaciones públicas o privadas de diferentes países, publicaciones de periódicos digitales, extractos de publicaciones de investigación, así como recursos propios de empresas privadas.

Ante la diversidad de conceptos que se han visto a lo largo de la investigación, se podría decir que principalmente los criterios de elección adoptados en la metodología han sido la elección de conceptos actualizados y de gran repetición citados por entidades u organismos privados y públicos, con gran influencia y antigüedad en el sector. Así mismo, la repetición de los mismos conceptos ha sido otro de los motivos de elección para la elección de dicho concepto.

Resultados

Los métodos modernos de construcción (MMC) albergan principalmente los sistemas prefabricados al ser un término más inclusivo, su clasificación es menos restrictiva que la referente a OSM, que, por ejemplo, acepta elementos como carpinterías.

Por otro lado, la *Offsite construction* (OSM), hace referencia a los sistemas industrializados por las características de su clasificación. Recoge claramente que los tres últimos ítems de su clasificación especifican que forman parte de los MMC, pero no de la OSM.

Para resumir, los sistemas industrializados se pueden considerar tanto en la OSM como en los MMC, siendo más correcto considerarlo dentro de la OSM, mientras que los sistemas prefabricados únicamente forman parte de los MMC.

Complementariamente, el DfMA, es la optimización de la aplicación de la OSM. Es la metodología OSM desarrollada de forma específica mejorando sus rendimientos y por consiguiente los resultados obtenidos.

La propuesta de clasificación sobre la OSM se basa principalmente en los términos con mayor validez bibliográfica que son los referentes al *Buildoffsite* (Gibb & Pendlebury, 2006), *Housing Corporation*, y *BeAware* (bre, 2009), son los más completos y se trata de la clasificación más repetida. Así mismo, las entidades *Housing Corporation* y *Buildoffsite* son de gran importancia en este sector.

Siendo así, se propone como clasificación definitiva acerca de la OSM la siguiente:

- *Volumetric*: La construcción volumétrica (también conocida como construcción modular) implica la producción de unidades 3D en condiciones controladas de fábrica antes de su transporte a la obra.
- *Panelised*: Los paneles planos se producen en una fábrica y se ensamblan in situ para producir una estructura tridimensional. El enfoque más común es utilizar paneles abiertos o marcos, que consisten en una estructura esquelética solamente con las instalaciones, mientras que el aislamiento, el revestimiento exterior y el acabado interior se realizan in situ. Los paneles más complejos, denominados normalmente paneles cerrados, implican una mayor fabricación en fábrica y pueden incluir materiales de revestimiento y aislamiento. y pueden incluir materiales de revestimiento y aislamiento. También pueden incluir instalaciones, ventanas, puertas, acabados interiores de las paredes y revestimientos exteriores.
- *Hybrid*: También denominado semivolumétrico, combina ambos sistemas, panelizado y volumétrico. Normalmente, las unidades volumétricas (a veces denominadas Pods) se utilizan para las zonas con más instalaciones y con mayor modulación, como las cocinas y los baños, mientras que el resto de la vivienda o edificio se construye con paneles.
- *Subassemblies and components*: Abarca los enfoques que no llegan a clasificarse como OSM, utilizan varios subconjuntos o componentes innovadores producidos en fábrica en un tejido estructural de construcción tradicional.
- *Non-OSM Modern Methods of Construction*: Engloba los esquemas que utilizan técnicas innovadoras de construcción de viviendas y sistemas estructurales que quedan fuera de las categorías OSM. La presencia de la innovación es una característica esencial que puede manifestarse a través de un sistema de construcción innovador que no sea OSM, a través de una técnica de construcción conocida en otros sectores, pero nueva para la construcción de viviendas, o a través de la combinación de componentes tradicionales de forma innovadora.
- *Non Applicable*: Esta categoría pretende englobar todos los proyectos tradicionales de nueva construcción y de rehabilitación, renovación y reconversión de emplazamientos.

Por otro lado, la clasificación de los MMC se tiene en cuenta la terminología establecida por el *Buildoffsite*, el CITB y el RIBA; ya que igual que en el caso anterior son las entidades que mayor validez tienen y han sido como referencia para otras publicaciones en mayor consideración.

Por ende, la propuesta de clasificación definitiva acerca de los MMC es la siguiente:

- *Component subassembly*: Artículos de escala relativamente pequeña que invariablemente se ensamblan fuera del lugar, por ejemplo, accesorios de iluminación, ventanas o puertas.
- *Non-volumetric pre-assembly*: Una gran categoría que abarca los artículos que el diseñador ha elegido para ensamblar en una fábrica antes de la instalación. Las unidades no cierran espacios completos. Su aplicación puede ser esquelética, plana o compleja, por ejemplo, sistemas de paneles, paneles de revestimiento, o módulos de instalaciones por encima del techo.
- *Volumetric pre-assembly*: Unidades que cierran el espacio utilizable y luego se instalan dentro o sobre un edificio o estructura. Normalmente cuentan con un acabado interior completo, por ejemplo, baños o salas de máquinas.
- *Complete buildings*: Unidades que cierran un espacio utilizable y que forman parte del edificio o estructura completa (las unidades pueden o no incorporar dimensiones modulares coordinadas). Normalmente cuentan con acabado interior de fábrica, así como posiblemente con el exterior.

La estandarización de la terminología principal cumple un papel importante en el sector industrializado y prefabricado a la hora de desarrollar estas metodologías. Así mismo, la propuesta de estas clasificaciones se realiza con el fin de establecer estas como estándares para la aplicación de estos sistemas de construcción a nivel internacional.

Results

Modern methods of construction (MMC) mainly include prefabricated systems as it is a more inclusive term, its classification is less restrictive than that of OSM, which, for example, accepts elements such as carpentry.

Offsite construction (OSM), on the other hand, refers to industrialised systems due to the characteristics of its classification. It clearly states that the last three items of its classification specify that they are part of the MMC, but not of the OSM.

To summarise, industrialised systems can be considered both in the OSM and in the MMC, being more correct to consider them within the OSM, while prefabricated systems are only part of the MMC.

Complementarily, the DfMA is the optimisation of the OSM application. It is the OSM methodology specifically developed to improve its performance and consequently the results obtained.

The proposed classification of the OSM is based mainly on the terms with the greatest bibliographical validity, which are those referring to the Buildoffsite (Gibb & Pendlebury, 2006), Housing Corporation, and BeAware (bre, 2009), which are the most complete and the most repeated classification. Also, the entities Housing Corporation and Buildoffsite are of great importance in this sector.

Therefore, the following classification is proposed as the definitive classification of the OSM:

- Volumetric: Volumetric construction (also known as modular construction) involves the production of 3D units under controlled factory conditions prior to transport to site.
- Panelised: Flat panels are produced in a factory and assembled on site to produce a three-dimensional structure. The most common approach is to use open or framed panels, which consist of a skeletal structure with installations only, while insulation, external cladding and internal finishing are carried out on site. More complex panels, usually referred to as closed panels, involve more factory fabrication and can include cladding and insulation materials. They may also include fixtures, windows, doors, interior wall finishes and exterior cladding.
- Hybrid: Also called semi-volumetric, it combines both panelised and volumetric systems. Typically, volumetric units (sometimes referred to as Pods) are used for areas with more fixtures and greater modulation, such as kitchens and bathrooms, while the rest of the house or building is constructed with panels.
- Subassemblies and components: encompasses approaches that fall short of being classified as OSM, using various sub-assemblies or innovative factory-produced components in a traditional structural building fabric.
- Non-OSM Modern Methods of Construction: Encompasses schemes that use innovative housing construction techniques and structural systems that fall outside the OSM categories. The presence of innovation is an essential characteristic that may be manifested through an innovative non-OSM construction system, through a construction technique known in other sectors but new to residential construction, or through the combination of traditional components in an innovative way.
- Non-Applicable: This category is intended to encompass all traditional new construction and site rehabilitation, renovation, and conversion projects.

On the other hand, the classification of MMC considers the terminology established by the Buildoffsite, the CITB and the RIBA; since, as in the previous case, these are the most valid entities and have been used as a reference for other publications in greater consideration.

Therefore, the proposed definitive classification of MMC is this:

- Component subassembly: Small articles items that are invariably assembled off-site, e.g., light fittings, windows, or doors.
- Non-volumetric pre-assembly: A large category encompassing items that the designer has chosen to assemble in a factory prior to installation. The units do not enclose complete spaces. Their application can be skeletal, flat, or complex, e.g., panel systems, cladding panels, or above-roof installation modules.
- Volumetric pre-assembly: Units that enclose usable space and are then installed in or on a building or structure. They usually have a complete interior finish, e.g., bathrooms or machine rooms.
- Complete buildings: Units that enclose usable space and form part of the complete building or structure (units may or may not incorporate coordinated modular dimensions). They are usually factory-finished on the inside, as well as possibly on the outside.

Standardisation of the main terminology has an important role to play in the industrialised and prefabricated sector in developing these methodologies. Furthermore, the proposal of these classifications is made in order to establish these as standards for the application of these building systems on an international level.

Conclusions

The result of the incorporation of these methodologies such as Offsite Manufacturing (OSM), Modern Construction Methods (MMC) and Design for Manufacture and Assembly (DfMA) has been in use for several years, although they are not defined as such with standardised terminology, processes and implementations.

The complete definition of these methodologies and the standardisation of their use will lead to a significant improvement on a global level, since all the agents involved in these processes will have a guide for the correct application of industrialised and prefabricated systems.

Due to the expansion of this type of systems at an international level, the processes of designing projects, execution processes, as well as the monitoring of as-built projects, will be significantly improved.

Finally, these new methodologies are currently being incorporated little by little. At a national level, in Spain, their promotion is beginning thanks to the recent creation of several associations. A great effort must be made by all the agents involved to reach the high implementation percentages of the countries of Northern Europe, as they have a high degree of application of these systems.

In conclusion, it should be noted that, thanks to the change of processes in the construction sector, the results obtained are also changing.

These results are of interest to all market players to standardise terminology and thus facilitate their development.

Conclusiones

El resultado de la incorporación de estas metodologías de trabajo como son la *Offsite Manufacturing* (OSM), los métodos modernos de construcción (MMC) y el diseño para la fabricación y el montaje (DfMA) ya vienen utilizándose desde hace varios años, aunque no estén definidas como tal con una terminología, procesos e implantaciones estandarizadas.

Mediante la completa definición de estas metodologías y la estandarización de su uso se conseguirá una notable mejora a nivel global, ya que gracias a ello todos los agentes intervinientes en estos procesos tendrán una guía con el fin de aplicar correctamente los sistemas industrializados y prefabricados.

En vista de la expansión de este tipo de sistemas a nivel internacional se mejorarán notablemente los procesos de diseño de proyectos, procesos de ejecución, así como el seguimiento de los proyectos *as built*.

Finalmente, en la actualidad poco a poco se están incorporando estas nuevas metodologías. A nivel nacional, en España, se está comenzando con su promoción gracias a la reciente creación de varias asociaciones. Se deberá hacer un gran esfuerzo por parte de todos los agentes intervinientes para alcanzar los altos porcentajes de implantación de los países del norte de Europa, ya que cuentan con un alto grado de aplicación de dichos sistemas.

Para concluir, cabe destacar que, gracias al cambio de procesos del sector de la construcción, cambia también el resultado que se obtiene. Estos resultados resultan de interés para todos los agentes del mercado para estandarizar terminología y de esta manera facilitar su desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Aboasod, H., Underwood, J., Isikdag, U., & Barony, S. (2010). A CLASSIFICATION SYSTEM FOR REPRESENTATION OF OFF-SITE MANUFACTURING CONCEPTS THROUGH VIRTUAL PROTOTYPING.
- bre. (2009). beaware.
- Gibb, A., & Pendlebury, M. (2006). Glossary of Terms. buildoffsite, pags. 16 - 17.
- Jasen van Vuuren, T., & Middleton, T. (2020). CIRIA. Retrieved from ISBN: 978-0-86017-897-2
- KIER. (2019).
- Modular Building Institute. (2019). Permanent Modular Construction Report. (p. 13, Ed.) Retrieved from <https://www.modular.org/documents/public/images/2019-PMC-Report-reduced.pdf>
- Mohd Nawi, M., Akmar Abu Hanifa, F., Anuar Mohamad Kamar, K., Lee, A., & Nor Azhari Azman, M. (2014). Modern Method of Construction: An Experience from UK.
- Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry. (2011). McGraw-Hill Construction, 56.
- Proyecto MANUBUILD. (2009). Industrialización en la vivienda - 15 propuestas flexibles y de calidad.
- Robinson, A. (2019). ISBU Modular Construction and Building Design Prototypes.

METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN PARA MAXIMIZAR LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS DEL AGREGADOR EN SU CARTERA DE CLIENTES

OPTIMISATION METHODOLOGY TO MAXIMISE THE ECONOMIC BENEFITS OF THE AGGREGATOR ON ITS CUSTOMER BASE

Jorge Cano Martínez

Máster en Ingeniería en Tecnologías Industriales por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: jorcama2@etsii.upv.es

Elisa Peñalvo-López

PhD. por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: elpealpe@upvnet.upv.es

Vicente León Martínez

PhD. por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: vleon@die.upv.es

Iván Valencia Salazar

PhD. por la Universitat Politècnica de València. Instituto de Ingeniería Energética de la UPV. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: ivalencias@die.upv.es

Abstract

This article aims to explain how the new figure approved with RDL23/2020 works. The aggregator is responsible for energy balancing a network of customers to obtain an economic benefit from it. In this document, the profiles of the customer portfolio of an aggregator are studied to create a methodology that shows the compatibility between the different users. This implementation is based on the simulation and analysis of the generation and consumption data of a portfolio of customers to plan and establish the periods for the purchase and sale of energy.

Several fundamental axes have been considered to achieve the objectives of this project: a dynamic demand management system, a study of the user profile in its energy, socioeconomic and constructive components by means of a multi-criteria decision-making method and the implementation of an optimisation of the planning to establish the moment of purchase and sale of energy in order to satisfy the needs of the customers and obtain the maximum profitability.

Resumen

Este artículo tiene el objetivo de conocer el funcionamiento de la nueva figura aprobada con el RDL23/2020. El agregador es responsable de balancear energéticamente una red de clientes con el fin de obtener un beneficio económico por ello. En el presente documento se estudian los perfiles de la cartera de clientes de un agregador para crear una metodología en la que se ponga de manifiesto la compatibilidad entre los distintos usuarios. Esta implementación contempla mediante la simulación y el análisis de los datos de generación y consumo de una cartera de clientes, para poder planificar y establecer así los periodos de compra y venta de energía.

Se han considerado varios ejes fundamentales para la consecución de los objetivos de este: un sistema de gestión de demanda dinámico, un estudio del perfil de usuario en sus componentes energética, socioeconómica y constructiva mediante un método de toma de decisiones multicriterio y la implementación de una optimización de la planificación para establecer el momento de compra y venta de energía con el que satisfacer las necesidades de los clientes y obtener la máxima rentabilidad del agregador.

Keywords

Demand Side Management System, Demand Aggregator, Prosumers, Energy Community, Tariffs, Compatibility Index.

Introducción

El desarrollo de la generación, el transporte, la distribución y el consumo de energía eléctrica ha determinado el cambio de una estructura de suministro de energía a granel al sistema de suministro de microrredes, en zonas urbanas y de reciente desarrollo, así como donde es posible utilizar eficazmente las fuentes renovables que suministran energía eléctrica a los clientes locales a precios más bajos en comparación con el suministro de la red [1]-[2]-[3].

La evolución hacia un mercado eléctrico liberalizado con una alta penetración de las fuentes de energía renovable (FER) requiere una actualización de la arquitectura tradicional del sistema eléctrico. Es necesario aplicar nuevas metodologías de gestión de la energía del sistema y deben introducirse nuevas figuras en los mercados de la electricidad [4]-[5].

Se define como agregador de demanda (**Fig. 1**) al agente del sistema eléctrico que gestiona, optimiza y modula en los mercados locales la demanda y exportación de energía al sistema por parte de pequeños y medianos consumidores y/o productores, mediante la gestión de la generación o almacenamiento». La función principal del agregador es gestionar la demanda para conseguir sacar el máximo beneficio económico a la vez que se satisfacen las demandas de sus clientes [6]. Tras la aprobación del **Real Decreto-Ley 23/2020 (Fig. 2)** aparece en España esta figura, mediante la que será posible la gestión de la demanda de varios consumidores y generadores para operar en los mercados de electricidad [7]-[8].

Introduction

The development of electricity generation, transmission, distribution and consumption has determined the shift from a bulk power supply structure to the microgrid supply system, in urban and newly developed areas, as well as where it is possible to efficiently use renewable sources that supply electricity to local customers at lower prices compared to grid supply [1]-[2]-[3].

The evolution towards a liberalised electricity market with a high penetration of renewable energy sources (RES) requires an update of the traditional architecture of the electricity system. New system energy management methodologies need to be applied and new figures need to be introduced in the electricity markets [4]-[5].

A demand aggregator (**Fig. 1**Fig. 2) is defined as an agent of the electricity system that manages, optimises and modulates in local markets the demand and export of energy to the system by small and medium-sized consumers and/or producers, through the management of generation or storage". The main function of the aggregator is to manage demand in order to obtain the maximum economic benefit while satisfying the demands of its customers [6]. Following the approval of Royal Decree-Law 23/2020 (**Fig. 2**), this figure appears in Spain, through which it will be possible to manage the demand of several consumers and generators to operate in the electricity markets [7]-[8].

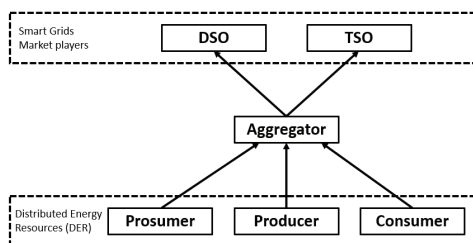


Fig. 1. El agregador de demanda

Fig 1. Demand aggregator

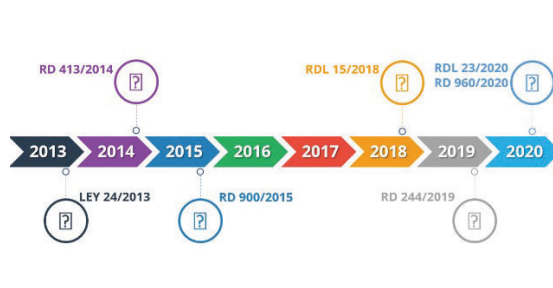


Fig. 2. Evolución de la legislación española sobre el mercado eléctrico.

Fig. 2. Developments in Spanish legislation on the electricity market.

Estudio del arte

La figura del agregador existe en Europa desde hace una década y en Estados Unidos cerca de veinte años. Sin embargo, su implantación en España es muy reciente. No obstante, las líneas de investigación relacionadas con este agente del sistema tratan el mismo problema: el aumento del consumo energético [9].

Una de las formas más prometedoras de solucionar este incremento de la demanda energética es aumentar la potencia instalada de energías renovables. Según Wei, se puede alcanzar el equilibrio de Nash entre oferta y demanda de energía a través de la carga de vehículos eléctricos mediante generación renovable [10]. Bessa et al., 2012 destaca también las grandes posibilidades que presenta el uso del vehículo eléctrico en la reducción de las desviaciones de energía ofertada y consumida como regulador del mercado [11].

Otra de las funciones más importantes a desarrollar por el agregador, según Contreras-Ocaña et al., es el eficiente almacenamiento y distribución de pequeñas cantidades de energía como agente regulador de la red [12].

Chuang y Chiu destacan la importancia de las redes inteligentes para facilitar la comunicación y la alta penetración de las energías renovables para coordinar mejor los flujos de energía y dinero entre los productores y consumidores, facilitando la labor del agregador [13].

Por tanto, entre las soluciones que se proponen para equilibrar el sistema destacan la generación de energía basada en fuentes renovables, las diversas formas almacenamiento de esta energía, las posibilidades que presenta el vehículo eléctrico y la implantación de redes inteligentes de distribución y transporte de energía.

State of the art

The figure of the aggregator has existed in Europe for a decade and in the United States for almost twenty years. However, its implementation in Spain is very recent. Nevertheless, the lines of research related to this system agent address the same problem: the increase in energy consumption [9].

One of the most promising ways to solve this increase in energy demand is to increase the installed capacity of renewable energies. According to Wei, a Nash equilibrium between energy supply and demand can be achieved by charging electric vehicles through renewable generation [10]. Bessa et al., 2012 also highlights the great potential of using electric vehicles to reduce deviations in energy supply and consumption as a market regulator [11].

Another of the most important functions to be developed by the aggregator, according to Contreras-Ocaña et al. is the efficient storage and distribution of small amounts of energy as a grid regulator [12].

Chuang and Chiu highlight the importance of smart grids to facilitate communication and the high penetration of renewable energies to better coordinate energy and money flows between producers and consumers, facilitating the work of the aggregator [13].

Therefore, among the solutions proposed to balance the system are the generation of energy based on renewable sources, the various forms of energy storage, the possibilities presented by electric vehicles and the implementation of smart grids for energy distribution and transport.

Metodología

La metodología que se propone en el presente trabajo de investigación incluye la generación renovable, el almacenamiento, el vehículo eléctrico y IoT como soluciones al imparable aumento de la demanda energética, pero añade también un índice de compatibilidad entre los distintos usuarios de la red, basándose en la componente social, económica y energética del cliente, que maximiza los beneficios económicos del agregador.

La metodología desarrollada (Fig. 3) se compone de cinco apartados: caracterización de un nuevo cliente, análisis de compatibilidad, gestión de la demanda, predicción del precio del mercado y análisis económico y se aplicó para una cartera de clientes de 23 usuarios.

Caracterización de un nuevo cliente

Se realizó un análisis del perfil de consumo y de generación que presenta un cliente (prosumidor) en cuestión. Para ello, se estudiaron cuatro perfiles: residencial, comercial, turístico y servicios públicos.

Cada uno de los perfiles fue caracterizado a través de cuatro parámetros: geográficos, socioeconómicos, constructivos y energéticos. La información se obtuvo a través de una encuesta realizada a cada uno de los clientes.

Methodology

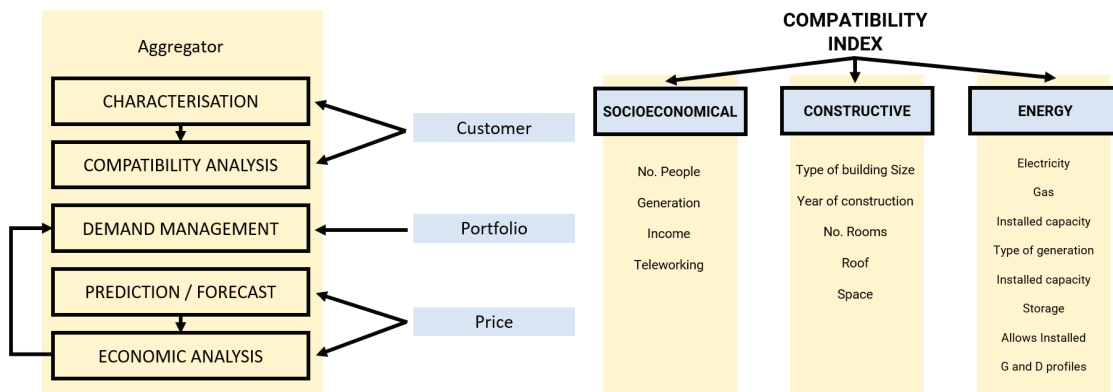
The methodology proposed in this research work includes renewable generation, storage, electric vehicles and IoT as solutions to the unstoppable increase in energy demand, but also adds a compatibility index between different grid users, based on the social, economic and energy component of the customer, which maximises the economic benefits of the aggregator.

The methodology developed (Fig. 3) consists of five sections: characterisation of a new customer, compatibility analysis, demand management, market price prediction and economic analysis and was applied for a client portfolio of 23 users.

Characterisation of a new customer

An analysis of the consumption and generation profile of the customer (prosumer) in question was carried out. To this end, four profiles were studied: residential, commercial, tourism and public services.

Each of the profiles was characterised through four parameters: geographical, socio-economic, construction and energy. The information was obtained through a survey carried out on each of the customers.



Análisis de compatibilidad

Con la información extraída durante la caracterización del cliente se realizó un análisis de compatibilidad del usuario con respecto a la cartera de clientes y al sistema de gestión de la demanda. Para ello, se utilizó el método de toma de decisiones multicriterio AHP (**Fig. 4**), que permitió establecer una puntuación bajo el criterio de maximizar el beneficio del agregador con el que ponderar al usuario. Las categorías principales fueron: geografía, socioeconomía, construcción y energía. Los valores asignados a cada una de las subcategorías dentro de la tabla de asignación son aquellos que maximizan el beneficio para el agregador.

Gestión de la demanda

Cada cliente dispone de un perfil de consumo (D) y de generación (G). Sin embargo, es muy complicado que ambos términos coincidan. Por este motivo, se utilizaron las variables EHA , EHE , EHR y A :

EHA : Energía Autoconsumida (kWh)

EHE : Energía Excedentaria (kWh)

EHR : Energía obtenida de la red (kWh)

A : Almacenamiento de energía (kWh)

Para optimizar la gestión de la demanda, se requiere de almacenamiento que permita distribuir por la red y utilizar la energía almacenada en momentos en los que el precio de compra sea mayor que el de la propia generación (**Fig. 5**).

Compatibility analysis

With the information extracted during the customer characterization, an analysis of the user's compatibility with respect to the customer portfolio and the demand management system was carried out. For this, the AHP multi-criteria decision-making method was used (**Fig. 4**), which allowed a score to be established under the criterion of maximizing the benefit of the aggregator with which to weight the user. The main categories were geography, socioeconomics, construction and energy. The values assigned to each of the subcategories within the allocation table are those that maximize the benefit to the aggregator.

Demand management

Each customer has a consumption (D) and generation (G) profile. However, it is very difficult for both terms to coincide. For this reason, the variables EHA , $EHEE$, EHR and A were used:

EHA : Self-consumed energy (kWh)

EHE : Surplus Energy (kWh)

EHR : Energy obtained from the network (kWh)

A : Energy storage (kWh)

To optimise demand management, storage is required to distribute over the network and use stored energy at times when the purchase price is higher than the price of generation itself (**Fig. 5**).

Predicción del precio del mercado

Para maximizar los beneficios del agregador es de vital importancia conocer el precio del mercado, para poder así planificar los momentos de compra y venta de energía. En este trabajo se utilizó un modelo lineal generalizado de Machine Learning para predecir dicho precio.

Las variables utilizadas para el entrenamiento y prueba del modelo fueron:

- Precio del mercado (€/MW)
- Precio del CO₂ (€/ton)
- Demanda total (GWh)
- Temperatura máxima y mínima (°C)
- Precipitaciones (l/m²)
- Velocidad del viento (km/h)
- Irradiancia (W/m²)

Los datos de precio del mercado, precio del CO₂, demanda total e irradiancia vienen dados horariamente, mientras que las temperaturas máxima y mínima, precipitaciones y velocidad del viento se presentan diariamente. Todo ello da lugar a una base de datos de 8784 filas y 8 columnas, puesto que han sido recopilados en el año 2020, bisiesto.

Market price prediction

In order to maximise the benefits of the aggregator, it is of vital importance to know the market price, so as to be able to plan the moments of buying and selling energy. In this work, a generalised linear Machine Learning model has been used to predict the market price.

The variables used for training and testing the model were:

- Market price (€/MW)
- Price of CO₂ (€/ton)
- Total demand (GWh)
- Maximum and minimum temperature (°C)
- Precipitation (l/m²)
- Wind speed (km/h)
- Irradiance (W/m²)

Market price, CO₂ price, total demand and irradiance data are given hourly, while maximum and minimum temperatures, precipitation and wind speed are presented daily. This results in a database of 8784 rows and 8 columns, as they have been collected in the leap year 2020.

Planificación energética

Conocido el precio del mercado (P_M), se realizó una planificación de los momentos de compra y venta de energía. Para ello, se requiere conocer las tarifas asignadas a cada uno de los usuarios de la cartera de clientes. Se realizó un estudio de las distintas tarifas disponibles en el mercado y se obtuvieron dos tarifas: Tarifa 2.0TD y 3.0TD.

Por último, se realiza la planificación de compra y venta de energía, considerando dos opciones:

1. Precio del mercado (P_M) < Precio de compra de la generación (P_{CG})
2. Precio del mercado (P_M) > Precio de compra de la generación (P_{CG})

Si el precio del mercado (**Fig. 5**) es menor que el precio de compra de la generación del excedente de los prosumidores se compra hasta satisfacer la demanda de la cartera de clientes y llenar existencias de almacenamiento. Mientras que, si el precio del mercado es mayor que el precio de compra de la generación, se satisfacen las necesidades de los usuarios con el excedente, el almacenamiento disponible y del mercado, por ese orden.

Energy plan

Once the market price (P_M) was known, a planning of the moments of purchase and sale of energy was carried out. To do this, it is necessary to know the tariffs assigned to each of the users in the customer portfolio. A study of the different tariffs available on the market was carried out and two tariffs were obtained: Tariff 2.0TD and 3.0TD.

Finally, energy purchase and sale planning have been carried out. For this, two options have been considered:

1. Market price $<$ generation purchase price.
2. Market price $>$ Purchase price of generation.

Depending on the market price (**Fig. 5**), different actions are chosen. In our case, if the market price is lower than the generation purchase price, the prosumers' surplus is purchased until the demand of the customer portfolio is satisfied and the storage stock is filled. Whereas, if the market price is higher than the generation purchase price, users' needs are met from the surplus, available storage and the market, in that order.

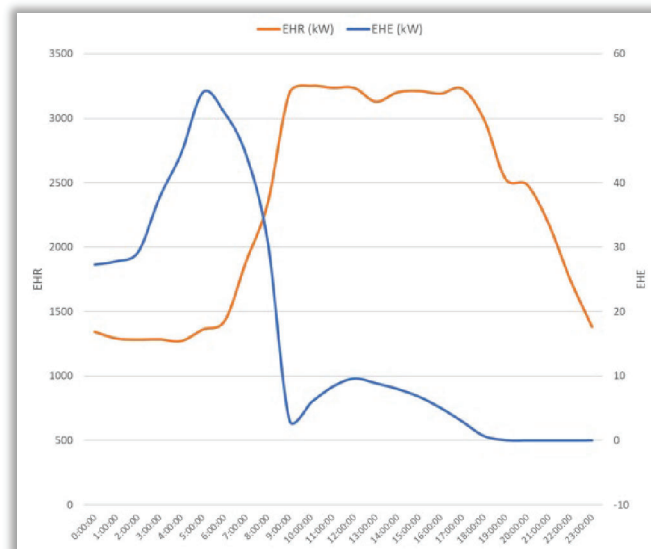


Fig. 5. Gestión de la demanda / Fig. 5. Demand management

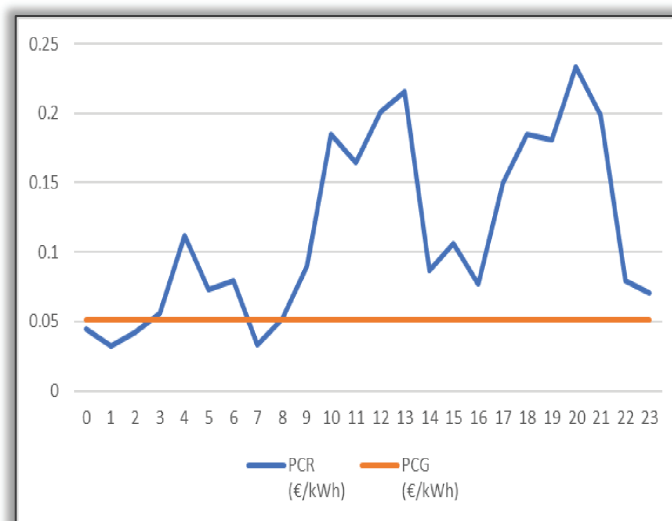


Fig. 6. Planificación energética / Fig. 6. Energy plan

Resultados

Para una cartera de clientes de 19 usuarios de distintos perfiles, se obtuvo como resultados:

- un algoritmo de predicción del precio del mercado con un error asociado de 8€/MW, que con los precios actuales supone un error del 3%.
- un índice de compatibilidad entre usuarios basado en la maximización del beneficio del agregador en función de su cartera de clientes que tiene en consideración su componente geográfica, energética, económica y social.
- 5 momentos horarios de compra de energía y 19 de venta de energía.
- un beneficio diario medio de 235,81€ (Fig. 6), lo que supone un beneficio de 86.070,65€/año.

Results

For a customer portfolio of 19 users with different profiles, the results were obtained:

- a market price prediction algorithm with an associated error of €8/MW which at current prices is an error of 3%..
- A compatibility index between users based on the maximisation of the aggregator's profit according to its customer portfolio.
- 5 hourly moments of energy purchase and 19 hourly moments of energy sale.
- an average daily profit of 235.81€ (Fig. 6), which means a profit of 86,070.65€/year.

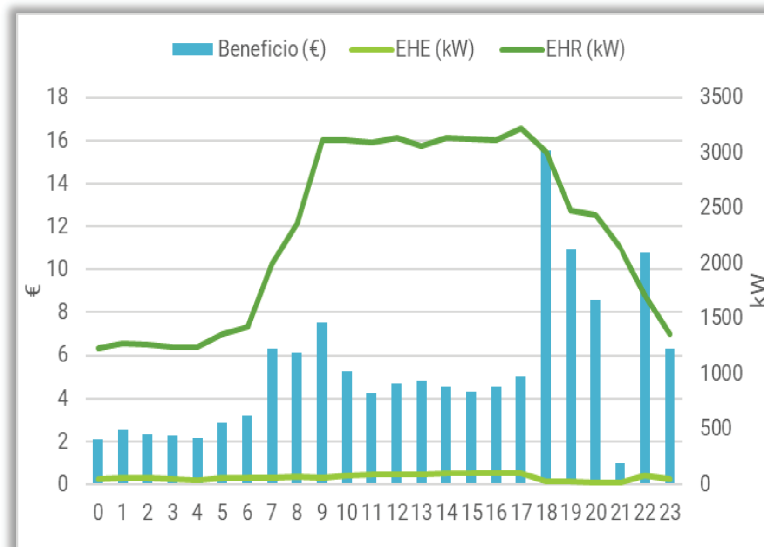


Fig. 7. Resultados / Fig. 6. Results

Conclusiones

Los sistemas de gestión de la demanda se encuentran en un momento álgido, introduciendo nuevas tecnologías hasta ahora impensables. Los sistemas de almacenamiento, bien sea por baterías o mediante el vehículo eléctrico presentan enormes posibilidades para gestionar la energía, lo que incita a cambiar el paradigma del almacenamiento y del stock hasta ahora concebido y, por tanto, la figura del agregador emerge como uno de los principales agentes de este cambio.

Para optimizar el beneficio del agregador se requiere conocer el precio del mercado con una predicción lo más acertada posible, con el fin de conocer los momentos de compraventa de energía y numerosas ponencias secundan esta línea de investigación. Por último, cabe destacar el uso del Internet de las Cosas (IoT) como desarrollo que facilitará enormemente la labor del agregador.

Conclusions

Demand management systems are at a peak, introducing new technologies that were unthinkable until now. Storage systems, whether by batteries or electric vehicles, offer enormous possibilities for energy management, which is leading to a change in the paradigm of storage and stock until now, and therefore the figure of the aggregator emerges as one of the main agents of this change.

In order to optimise the aggregator's profit, it is necessary to know the market price with the most accurate prediction possible, in order to know when energy is bought and sold, and numerous papers support this line of research. Finally, it is worth highlighting the use of the Internet of Things (IoT) as a development that will greatly facilitate the work of the aggregator.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- [1] M. Alcázar Ortega, C. Cañas Peñuelas, G. Escrivá Escrivá, V. Fuster Roig, and J. Roger Folch, *Generación, transporte y distribución de energía eléctrica*. Universitat Politècnica de València.
- [2] V. Dumbrava, G. C. Lazaroiu, S. Leva, G. Balaban, M. Teliceanu, and M. Tîrșu, "Photovoltaic production management in stochastic optimized microgrids," *UPB Sci. Bull. Ser. C Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 79, no. 1, pp. 225–244, 2017.
- [3] REE, "Atlas de la demanda Electrica Española," p. 163, 1998.
- [4] Parlamento Europeo, "Reglamento UE 2019/943 relativo al mercado interior de la electricidad," vol. 2019, pp. 54–124, 2019.
- [5] Secretaría de Estado de Energía, *Estrategia de almacenamiento energético*. 2021.
- [6] "Participación de un agregador en el mercado diario de electricidad," pp. 1–67, [Online]. Available: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26987/TFG_Juan-Miguel_Moreno_Rodrigo.pdf.
- [7] Jefatura del Estado, "Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica.," *Boletín Of. del Estado*, vol. 175, pp. 43880–43883, 2020.
- [8] J. López de Benito, "Agregador de Demanda," *El periódico de la energía*, 2020. <https://www.energynews.es/agregador-de-demanda/>.
- [9] S. Śmiech and M. Papież, "Energy consumption and economic growth in the light of meeting the targets of energy policy in the EU," *Int. Conf. Eur. Energy Mark. EEM*, pp. 1–5, 2014, doi: 10.1109/EEM.2014.6861217.
- [10] W. Wei, F. Liu, and S. Mei, "Charging Strategies of EV Aggregator Under Renewable Generation and Congestion: A Normalized Nash Equilibrium Approach," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 3, pp. 1630–1641, 2016, doi: 10.1109/TSG.2015.2477844.
- [11] R. J. Bessa, N. Lima, and M. A. Matos, "Operational management algorithms for an EV aggregator," *IET Conf. Publ.*, vol. 2012, no. 613 CP, 2012, doi: 10.1049/cp.2012.2037.
- [12] J. E. Contreras-Ocaña, M. A. Ortega-Vazquez, and B. Zhang, "Participation of an energy storage aggregator in electricity markets," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 10, no. 2, pp. 1171–1183, 2019, doi: 10.1109/TSG.2017.2736787.
- [13] Y. C. Chuang and W. Y. Chiu, "Deep Reinforcement Learning Based Pricing Strategy of Aggregators Considering Renewable Energy," *IEEE Trans. Emerg. Top. Comput. Intell.*, vol. PP, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1109/TETCI.2021.3109954.

**ZASTOSOWANIE TECHNIK LOKALIZACJI PRZESTRZENNEJ
W DIAGNOSTYCE KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH
Z WYKORZYSTANIEM DRONA**

**APPLICATION OF SPATIAL LOCATION TECHNIQUES IN THE DIAGNOSIS
OF BUILDING STRUCTURES USING A DRONE**

Roman Czyba

*Katedra Automatyki i Robotyki, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Politechnika Śląska,
Department of Automatic Control and Robotics, Faculty of Automatic Control, Electronics and Computer Science,
Silesian University of Technology, E-mail: roman.czyba@polsl.pl*

Jarosław Domin

*Katedra Mechatroniki, Wydział Elektryczny, Politechnika Śląska,
Department of Mechatronics, Faculty of Electrical Engineering, Silesian University of Technology,
E-mail: jaroslaw.domin@polsl.pl*

Marcin Górski

*Katedra Inżynierii Budowlanej, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska,
Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Silesian University of Technology,
E-mail: marcin.gorski@polsl.pl*

Paweł Piórkowski

*Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Politechnika Śląska,
Faculty of Automatic Control, Electronics and Computer Science, Silesian University of Technology,
E-mail: pawepio334@student.polsl.pl*

Jacek Grzybowski

*Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Politechnika Śląska,
Faculty of Automatic Control, Electronics and Computer Science, Silesian University of Technology,
E-mail: jacegrz498@student.polsl.pl*

Michał Nerwiński

*Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Politechnika Śląska, E-mail: michner202@student.polsl.pl
Faculty of Automatic Control, Electronics and Computer Science, Silesian University of Technology,
E-mail: michner202@student.polsl.pl*

Dawid Rudy

*Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Politechnika Śląska,
Faculty of Automatic Control, Electronics and Computer Science, Silesian University of Technology,
E-mail: dawirud285@student.polsl.pl*

Radosław Rosiek

*Wydział Elektryczny, Politechnika Śląska,
Faculty of Electrical Engineering, Silesian University of Technology, E-mail: radoros247@student.polsl.pl*

Kamil Niziolek

*Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska,
Faculty of Civil Engineering, Silesian University of Technology, E-mail: kaminiz601@student.polsl.pl*

Abstract

The use of spatial location techniques in the diagnosis of building structures with the use of a drone is a project designed to assist people involved in the inspection of buildings and built infrastructure in a non-contact way to examine inaccessible parts of structures, as for example, bridges. The genesis of this concept is connected with diagnostic device allowing to inspect FRP (Fiber Reinforced Polymers) strengthening of structures in remote and non-destructive way. In order to deliver the diagnostic device to the structure, described in this paper UAV (Unmanned Aerial Vehicle) has been created together with dedicated hardware and software. The drone task is to reach the underside of the structure, heating the point with a heater, then save the image captured by the IR cameras. Additional vision cameras allow to obtain the depth from the image and can create a point cloud. The generated cloud creates a 3D object that can be used to create a model in a virtual environment, particularly in BIM (Building Information Modelling).

Keywords

Fiber Reinforced Polymer, Diagnosis of Buildings, Spatial Location Techniques, Drone, Building Information Modelling

Introduction

One of the methods of strengthening large-size building structures, e.g. bridges, is structural reinforcement made of carbon fibers (FRP tapes, mats - Fiber Reinforced Polymer). Strengthening the building structure with the FRP tape system entails the necessity of periodic diagnostics. Helpful in the diagnostic process can be unmanned aerial vehicles (UAV) equipped with a dedicated diagnostic module integrated with a thermal imaging camera that allows the assessment of the technical condition of the structure. An important aspect of the entire diagnostic process is its non-invasive nature, therefore this project proposes the use of spatial localization techniques to implement this process. The developed system is designed to support people who inspect bridges in order to be able to inspect the technical condition of bridges in a non-contact manner. During the project implementation, software and construction elements of the UAV were created to inspect FRP reinforcements with the help of a multi-rotor.

Wstęp

Jedną z metod wzmacniania wielkogabarytowych konstrukcji budowlanych np. mostów stanowią wzmocnienia strukturalne z włókien węglowych (taśmy, maty FRP – Fiber Reinforced Polymer). Wzmocnienie konstrukcji budowlanej systemem taśm FRP niesie za sobą konieczność okresowej diagnostyki. Pomocne w procesie diagnostycznym mogą być bezzałogowe platformy latające (BPL) wyposażone w dedykowany moduł diagnostyczny zintegrowany z kamerą termowizyjną pozwalający na ocenę stanu technicznego konstrukcji. Ważnym aspektem całego procesu diagnostycznego jest jego bezinwazyjny charakter, w związku z czym w niniejszym projekcie zaproponowano wykorzystanie technik lokalizacji przestrzennych do realizacji tego procesu. Opracowany system przeznaczony jest do wspomagania osób zajmujących się inspekcją mostów, aby w bezkontaktowy sposób móc zbadać stan techniczny konstrukcji. W trakcie realizacji projektu stworzono oprogramowanie oraz elementy konstrukcyjne BPL, aby przy pomocy wielowirnikowca dokonywać inspekcji konstrukcji budowlanych wzmocnionych nakładkami FRP.

Plan of measurement process

In order to perform the measurement, the following methodology was chosen - the UAV equipped with a diagnostic system moves to the measurement site. The drone rises keeping a certain distance from the tested surface of the bottom surface of the structure, and then heats the diagnosed area with the help of a heating module. After reaching the set temperature, the heating module is turned off, and then while the material cools down, the measurement data from the thermal imaging camera is recorded and archived (for further analysis). After taking the measurement, the drone flies away from the lower surface of the structure to a safe distance, then moves to the next location in order to obtain measured data. After scanning the entire surface, the drone lands, completing the task.

Plan wykonania pomiaru

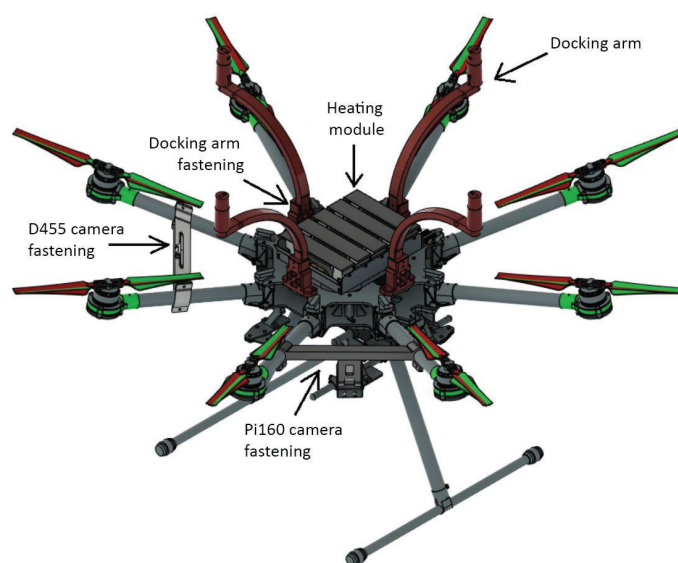
Aby wykonać pomiar została obrana następująca metodyka postępowania - bezzałogowy statek powietrzny wyposażony w system diagnostyczny przemieszcza się do miejsca pomiaru. Dron wznosi się utrzymując określony dystans od badanej powierzchni płyty mostowej, a następnie nagrzewa diagnozowany obszar przy pomocy modułu grzewczego. Po osiągnięciu zadanej temperatury moduł grzewczy zostaje wyłączony, a następnie w trakcie stygnięcia materiału następuje rejestracja i archiwizacja (celem dalszej analizy) danych pomiarowych z kamery termowizyjnej. Po dokonaniu pomiaru dron odlatuje od dolnej powierzchni konstrukcji na bezpieczną odległość, następnie przemieszcza się do kolejnego miejsca pomiarowego. Po dokonaniu skanu całej powierzchni, dron ląduje kończąc wykonanie zadania.

Structure of the diagnostic platform

To achieve the described above goal of the project, the DJI S1000 unmanned multi-rotor platform was used. UAV was equipped with a diagnostic thermal module consisting of a heat source and a thermal imaging camera. The main element of the control and measurement system, enabling the non-invasive diagnostic process with the use of spatial location methods, was the on-board computer, cooperating with the main Pixhawk autopilot. The spatial localization process is carried out on the basis of images from two Intel Realsense D455 and T265 stereo vision cameras and distance sensors. The installed cameras have the functions of obtaining depth from the image and generating a point cloud. The generated cloud creates a 3D object that can be used to create a model in a virtual environment.

Konstrukcja platformy pomiarowej

Do realizacji przedstawionego celu projektu, wykorzystano bezzałogową platformę wielowirnikową DJI S1000 wyposażoną w diagnostyczny moduł cieplny składający się z źródła ciepła oraz kamery termowizyjnej. Główny element układu kontrolno-pomiarowego, umożliwiającego bezinwazyjne przeprowadzenie procesu diagnostycznego z wykorzystaniem metod lokalizacji przestrzennej, stanowił komputer pokładowy, współpracujący z głównym autopilotem Pixhawk. Proces lokalizacji przestrzennej realizowany jest na podstawie obrazów z dwóch kamer stereowizyjnych Intel Realsense D455 i T265 oraz czujników odległości. Zamontowane kamery posiadają funkcje pozyskiwania głębi z obrazu oraz generowania chmury punktów. Wygenerowana chmura tworzy obiekt 3D, który można wykorzystać do stworzenia modelu w środowisku wirtualnym.



Rysunek 1. Model CAD platformy
Figure 1. CAD model of UAV

Docking system

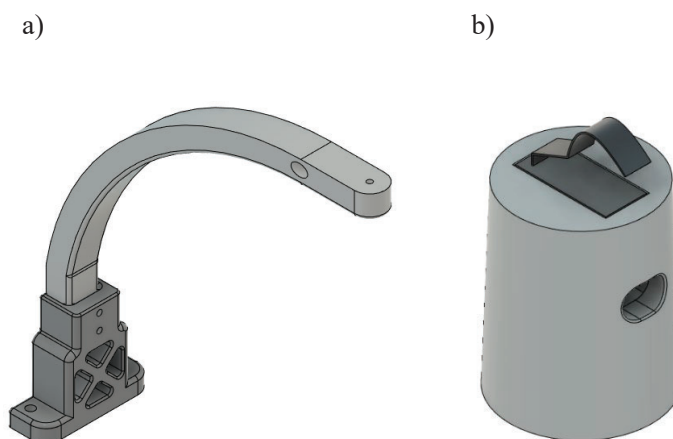
The docking system consists of 4 arms attached to the top plate of the drone structure. At the ends of the arms there are elastic elements made of thermoplastic polyurethane (TPU) in 3D printing technology. Their purpose is to cushion the first contact with the tested surface and constitute the mounting structure of the limit sensors on the basis of which the control and measurement system determines the correct positioning of the unmanned aerial platform in relation to the diagnosed surface.

The structure of the docking module and the mechanical elements of the spatial location system (camera mounts, reinforcements) have been designed in the Autodesk Inventor environment in a way that allows it to be made in 3D printing technology. This approach allowed for rapid production, testing

and implementation of structural adjustments. The tests were carried out first with the use of the DJI F450 drone, for which a dedicated mechanical structure was made (arms modification).

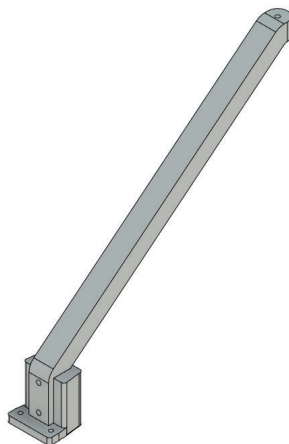
System dokujący

System dokujący składa się z 4 ramion zamocowanych do górnej płyty konstrukcji drona. Na końcach ramion znajdują się elementy elastyczne wykonane z termoplastycznego poliuretanu (TPU) w technologii druku 3D. Ich celem jest amortyzacja pierwszego kontaktu z badaną powierzchnią oraz stanowią konstrukcję mocującą czujników krańcowych na podstawie których system kontrolno-pomiarowy stwierdza prawidłowe spozycjonowanie bezzałogowej platformy latającej względem diagnozowanej powierzchni.



Rysunek 2. Model CAD ramienia dokującego (a) z odbojnikiem z krańcówką (b)
Figure 2.. CAD Model of docking arm (a) with bumper with limit switch (b)

Konstrukcja modułu dokującego oraz elementów mechanicznych systemu lokalizacji przestrzennej (mocowania kamer, wzmocnienia) została zaprojektowana w środowisku Autodesk Inventor w sposób umożliwiający jej wykonanie w technologii druku 3D. Podejście to pozwoliło na szybkie wykonanie, testowanie oraz wprowadzenie korekt konstrukcyjnych. Badania testowe przeprowadzono w pierwszej kolejności z wykorzystaniem drona DJI F450, dla którego wykonano dedykowaną konstrukcję mechaniczną (modyfikacja ramion).



Rysunek 3. Projekt mocowania dla drona DJI F450

Figure 3. Mounting design for the DJI F450 drone

Układ sterowania UAV (unmanned aerial vehicle)

Control and measurement system of an unmanned aerial vehicle

The software has been developed using the ROS (Robot Operation System) version of Melodic Moreni and the MAVSDK library. The unmanned aerial vehicle dedicated for diagnostic purposes is equipped with two depth cameras Intel Realsense D455 and Intel Realsense T265. Communication with the ground station is done wirelessly using WiFi network.

A GPS module (Here 3 RTK) and a PX4 Flow optical camera were also used to increase the positioning accuracy of the UAV.

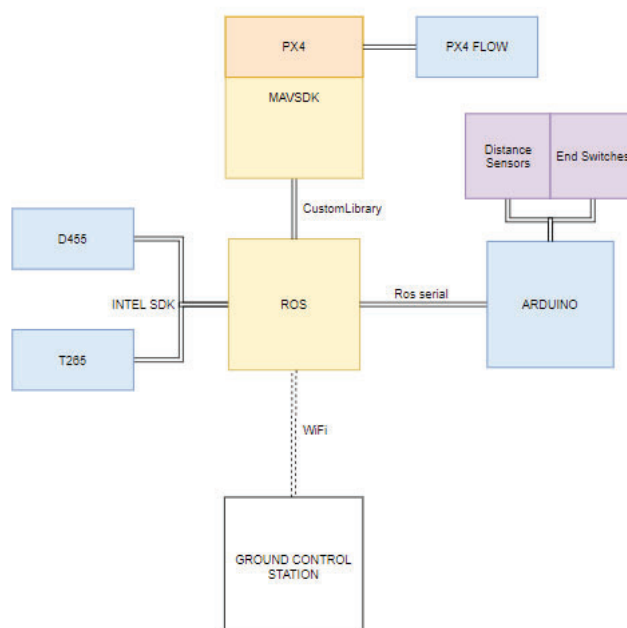
In addition to the depth cameras, the GPS module and the optical camera, the control system has been enhanced with an Arduino microcomputer module by which communication between the main operating system (ROS) and the distance sensors and the limit sensors takes place. The information from these two sensors is the basis for starting the diagnostic process. The data from these sensors is also necessary to control the speed of rotation of the motors.

Układ kontrolno-pomiarowy bezzałogowej platformy latającej

Oprogramowanie zostało opracowane z wykorzystaniem ROS (Robot Operation System) w wersji Melodic Moreni oraz biblioteki MAVSDK. Bezzałogowa platforma latająca dedykowana do celów diagnostycznych jest wyposażona w dwie kamery głębi Intel Realsense D455 oraz Intel Realsense T265. Komunikacja ze stacją naziemną odbywa się bezprzewodowo z wykorzystaniem sieci WiFi.

W celu zwiększenia dokładności pozycjonowania bezzałogowego statku powietrznego wykorzystano również moduł GPS (Here 3 RTK) oraz kamerę optyczną PX4 Flow.

Oprócz kamer głębi, modułu GPS oraz kamery optycznej układ sterowania został wzbogacony o moduł o mikrokomputer Arduino, przy pomocy którego odbywa się komunikacja pomiędzy głównym systemem operacyjnym (ROS) a czujnikami odległości oraz czujnikami krańcowymi. Informacja z tych dwóch czujników jest podstawą do rozpoczęcia procesu diagnostycznego. Dane z tych czujników są również niezbędne do sterowania prędkością wirowania silników.



Rysunek 4. System kontrolno-pomiarowy, schemat blokowy
Figure 4. Control and measurement system – block diagram

Simulation

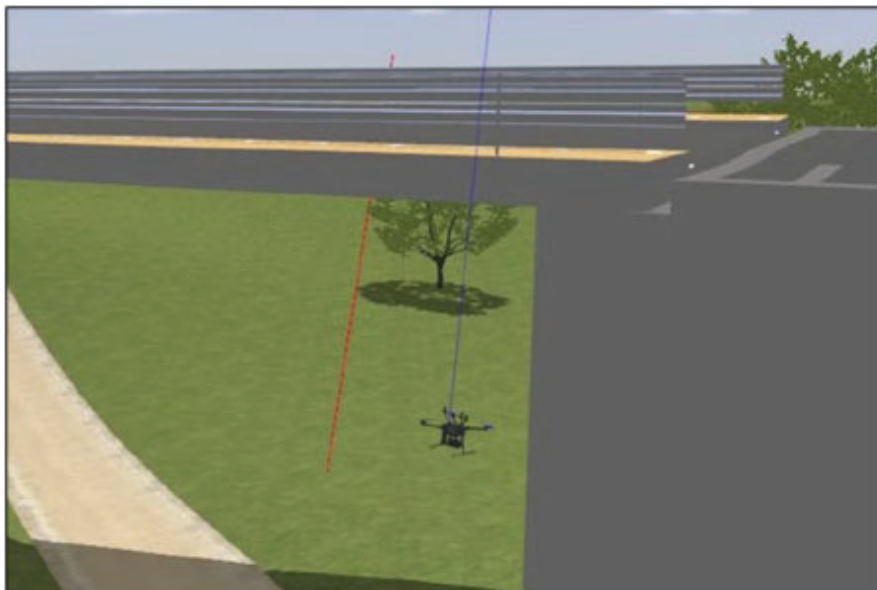
Virtual environments were used to test the designed software. With the use of these environments, it is possible to create and test software without the risk of destroying the UAV. The developed PX4 (autopilot) software has the SITL (Software In The Loop) function, which means that the entire autopilot software can operate in the simulation created, which guarantees that the software will correctly communicate with the drone. All sensors and cameras used onboard the flying platform can be simulated in a virtual environment.

Testing under simulation conditions was carried out using a CAD model of a bridge as an example. The data recorded during the simulation process allowed to create a point cloud of the studied object. The point cloud of the mapped object was obtained as a result of the simulation tests.

The registered and archived point cloud has been processed in ReCap Autodesk to the appropriate data format, it can be imported into Autodesk Revit and integrated with the CAD model.

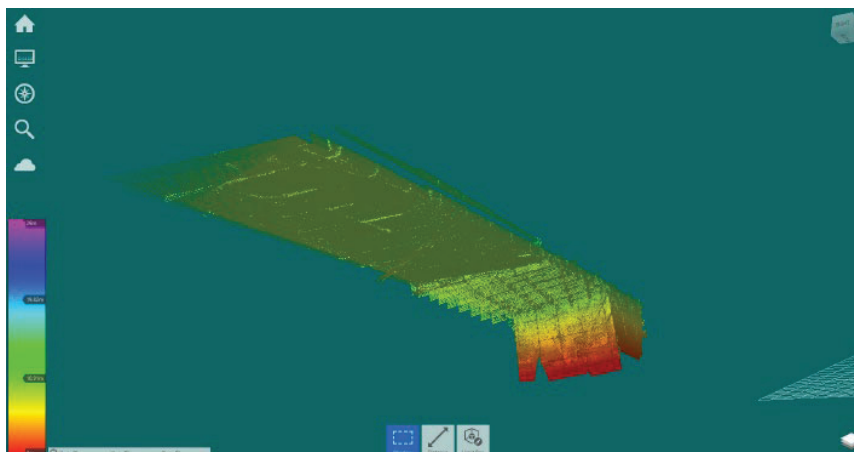
Symulacja

Do testowania projektowanego oprogramowania użyto środowisk wirtualnych. Dzięki pomocy tychże środowisk można tworzyć i testować oprogramowanie bez groźby zniszczenia BPL. Tworzone oprogramowanie PX4 (autopilot) posiada funkcję SITL (Software In The Loop), co oznacza, że całe oprogramowanie autopilota może działać w stworzonej symulacji oraz gwarantuje, że oprogramowanie będzie poprawnie komunikować się z dronem. Zarówno wszystkie wykorzystane sensory oraz kamery, których użyto na pokładzie platformy latającej, mogą być symulowane w środowisku wirtualnym.



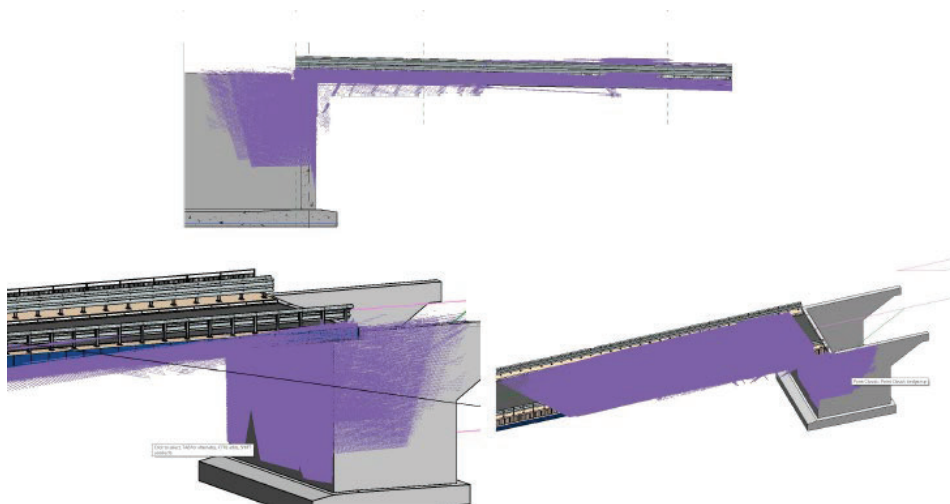
Rysunek 5. Wizualizacja - środowisko symulacyjne
Figure 5. Visualization - simulation environment

Testy w warunkach symulacyjnych zostały przeprowadzone na przykładzie modelu CAD mostu. Dane zarejestrowane podczas procesu symulacyjnego pozwoliły na stworzenie chmury punktów badanego obiektu. Jako wynik badań symulacyjnych otrzymano chmurę punktów mapowanego obiektu.



Rysunek 6. Zarejestrowana chmura punktów badanego obiektu w warunkach symulacyjnych
Figure 6. Registered point cloud of the test building construction – simulation results

Zarejestrowaną i zarchiwizowaną chmurę punktów po przetworzeniu w programie ReCap Autodesk do odpowiedniego formatu danych, można zaimportować do programu Revit Autodesk i zintegrować z rzeczywistym modelem CAD.



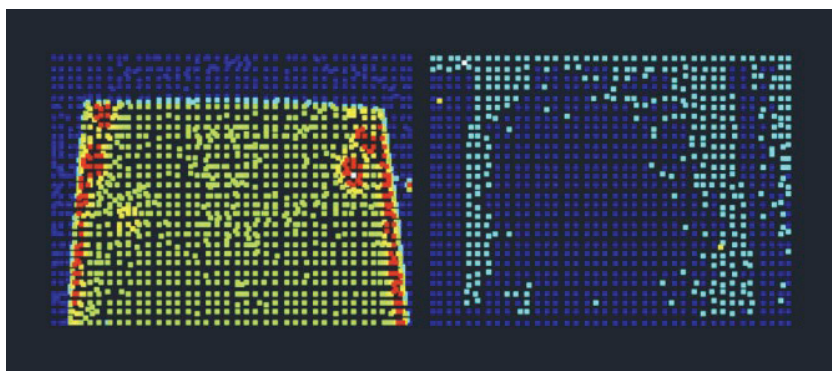
Rysunek 7. Integracja wyników symulacji z modelem CAD
Figure 7. Integration of simulation results with CAD model

Diagnostic tests

Diagnostic tests focus on collecting thermal data of the heated areas of FRP strengthening overlays with the help of an integrated thermal camera. Photos are saved and processed into a temperature matrix and then to point cloud files. The position of the points on the tested plane was obtained thanks to the prepared temperature matrices presented as the XY coordinate system. The read temperatures are presented in the form of the Z coordinate of the point cloud in the ReCap Autodesk program. Thanks to this solution, a graphical method of presenting data in the form of a temperature map was developed.

The data was processed into the AutoCAD environment, where on a prepared model of the tested structure, e.g. concrete slab with FRP strengthening system, the software locates each test area and obtain a full visualization of individual sections, which, thanks to diagnostic tests, can be classified as areas of detachment and damage to FRP laminates. The presented method enables a simple and

effective diagnostic test. Visualization of read temperatures on a dimensioned model of the tested object enables precise indication of damage and destruction locations of FRP stripes.



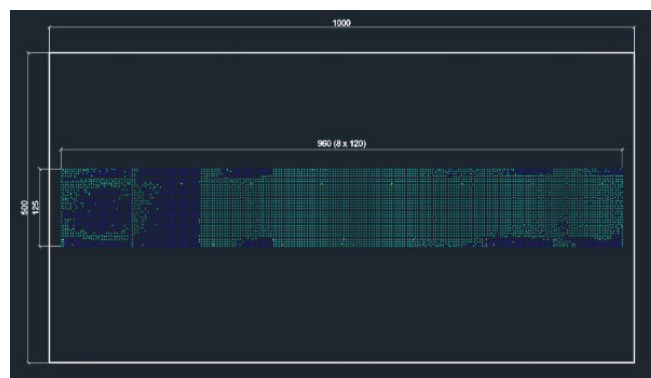
Rysunek 5. Mapy temperatur
Figure 5. Temperature maps

It is worth remembering that the quality of the photos taken and their subsequent visualization depends on many factors when conducting the tests - setting the camera at the right angle and in the right position for the tested surface, the configuration of the heater with the appropriate selection of the surface heating temperature and the temperature rise time. These factors have a significant impact on the diagnostic process.

Badania diagnostyczne

Badania diagnostyczne skupiają się na zbieraniu danych termowizyjnych nagrzewanych obszarów nakładek FRP przy pomocy zintegrowanej kamery termowizyjnej. Wykonane zdjęcia zostają zapisane i przetworzone do postaci macierzy temperatur oraz następnie do plików chmur punktów. Położenie punktów na badanej płaszczyźnie otrzymano dzięki przygotowanym macierzom temperatur przedstawionym jako układ współrzędnych XY. Odczytane temperatury zostały przedstawione w postaci współrzędnej osi Z chmury punktów w programie ReCap Autodesk. Dzięki takiemu rozwiązaniu wypracowano graficzną metodę przedstawiania danych w postaci mapy temperatur.

Dane przetworzono do środowiska AutoCAD, gdzie na przygotowanym modelu badanego obiektu np. badanej betonowej płyty z nakładkami FRP, można umiejscowić każdy badany obszar i uzyskać pełną wizualizację poszczególnych sekcji, które dzięki badaniom diagnostycznym można zakwalifikować jako obszary odspojenia i zniszczeń laminatów FRP. Przedstawiona metoda umożliwia proste i efektywne badanie diagnostyczne. Wizualizacja odczytywanych temperatur na zwymiarowanym modelu badanego obiektu umożliwia precyzyjne wskazanie miejsc uszkodzeń oraz zniszczeń nakładek FRP.



Rysunek 6. Wizualizacja modelu płyty
Figure 6. Visualization of slab model

Warto zaznaczyć, że jakość wykonanych zdjęć i ich późniejsza wizualizacja zależą od wielu czynników podczas przeprowadzania badań - ustawienia kamery pod odpowiednim kątem i w odpowiednim ułożeniu do badanej powierzchni, konfiguracji nagrzewnicy z odpowiednim doбором temperatury nagrzewania powierzchni jak i czasu wzrostu temperatury. Czynniki te mają istotny wpływ na proces diagnostyczny.

Conclusions

- Testing with a diagnostic module guarantees a non-invasive method of examining the structure, it does not expose it to destruction or damage.
- Working with the drone allows work in places that are difficult to reach for people, it omits to work with heavy equipment, among others large-scale building structures.
- Digital and BIM environments made it possible to present the results of a drone and diagnostic module in a transparent manner in the background of a 3D object model.
- Autonomous operation requires the integration of the control and measurement system of the diagnostic module and the system using spatial location techniques with the autopilot software.

Wnioski

- Badanie przy pomocy modułu diagnostycznego gwarantuje nieinwazyjną metodę badania konstrukcji, nie naraża jej na zniszczenie czy uszkodzenie.
- Praca z platformą latającą umożliwia pracę w trudno dostępnych dla ludzi miejscach, pozwala na pominięcie pracy z ciężkim sprzętem m.in. przy wielkogabarytowych konstrukcjach budowlanych.
- Środowisko cyfrowe oraz BIM umożliwiają wizualizację wyników przeprowadzonego badania diagnostycznego na tle modelu 3D obiektu.
- Praca autonomiczna wymaga integracji systemu kontrolno-pomiarowego modułu diagnostycznego oraz systemu wykorzystującego techniki lokalizacji przestrzennej z oprogramowaniem autopilota.

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN AL PROCESO DE INDUSTRIALIZACIÓN 2D EN EDIFICACIÓN

LEAN TOOLS APPLICATION TO THE 2D'S INDUSTRIALIZATION PROCESS IN BUILDINGS

Milagro Iborra Lucas

*Investigador en el Dpto. Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Colaborador de Universidad, Ingeniero de Materiales, Ingeniero de Edificación. E-mail: miborra1@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València. Materials Engineer, Building Engineer. E-mail: miborra1@csa.upv.es*

Lisseth Sáenz Lama

*Ingeniera Civil – Universidad de Piura. Perú
Máster en Edificación, especialidad de Gestión. Universitat Politècnica de València. España. E-mail: Lsaenz@edificacion.upv.es
Civil Engineer – University of Piura. Peru
Master in Building Engineering, Management Specialty, by Universitat Politècnica de València. Spain. E-mail: Lsaenz@edificacion.upv.es*

Abstract

After an analysis of the construction's state that demands greater sustainability in environmental, economic, and social terms, there is a need that has arisen to look for alternatives to the Management of Construction Processes, where information is being integrated by new concepts and modern tools, such as Integrated Project Delivery, Value Stream Mapping and Last Planner System.

The methodology used seeks to apply Lean tools during a project's development which integrates industrialization process as a solution, from the design to its execution, with a point of view of continuous improvement through feedback between the stakeholders, for maximum optimization of time, costs, materials, also greater quality control, reduction of occupational risks and to promote social integration.

Keywords

Lean, Industrialization, IPD, VSM, LPS, Management

Introducción

Actualmente, la construcción en España presenta dos grandes retos: la sostenibilidad y la falta de mano de obra. (Torres, 2021). Además, se busca abaratar costes sin perjudicar la calidad de las edificaciones, con la finalidad de compensar la actual coyuntura de alza de precios de los materiales. Por lo que se plantea como posible solución, la industrialización en el sector construcción de viviendas. Con la aparición de la filosofía Lean en la década de 1980, se fueron desarrollando conceptos como la mejora continua, la cual apunta a optimizar procesos en diversas industrias, incrementando las ganancias, reduciendo las pérdidas hasta el punto de eliminar aquello que no aporta valor. Este proceso iterativo de mejorar los rendimientos ha llevado a implementar los prefabricados en obra, siendo este el punto de partida de la industrialización en la construcción. Según el Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, la estrategia española de economía circular busca reducir al mínimo la generación de residuos y aprovechar con el mayor alcance posible los residuos que no puedan evitarse, con la finalidad de lograr una economía sostenible, descarbonizada, eficiente en el uso de los recursos y competitiva. De esta manera, el sector construcción podría alinearse a estos requisitos, gracias a la industrialización.

Finalmente se analiza la planta arquitectónica de un caso práctico, en el cual se busca aportar soluciones que permitan elaborar módulos de fácil y rápida producción, a fin de ahorrar tiempo y dinero, así como la oportunidad de ofrecer un producto de calidad, cuya fabricación, además, ofrezca condiciones laborales más seguras y agradables para los trabajadores del sector.

Introduction

Currently, construction in Spain presents two great challenges: sustainability and the lack of labor. (Torres, 2021). In addition, it seeks to lower costs without damaging the quality of the buildings, to compensate for the current situation of rising prices of materials. For what is proposed as a possible solution, industrialization in the housing construction sector. With the appearance of the Lean philosophy in the 1980s, concepts such as continuous improvement were developed, which aims to optimize processes in various industries, increasing profits, reducing losses to the point of eliminating what does not add value. This iterative process of improving yields has led to the implementation of precast on site, this being the starting point of industrialization in construction. According to the Ministry for the ecological transition and the demographic challenge, the Spanish circular economy strategy seeks to minimize the generation of waste and make the most of the waste that cannot be avoided, in order to achieve a sustainable, decarbonized economy. , efficient in the use of resources and competitive. In this way, the construction sector could align itself with these requirements, thanks to industrialization.

Finally, the architectural plan of a practical case is analyzed, in which it is sought to provide solutions that allow the elaboration of modules for easy and fast production, in order to save time and money, as well as the opportunity to offer a quality product, whose manufacture, in addition, offer safer and more pleasant working conditions for workers in the sector.

Objetivos

Conocer las herramientas de la filosofía Lean desde la etapa inicial de diseño hasta la etapa de colocación del elemento industrializado. Gestionar el proceso de industrialización, con el propósito de integrar a todos los involucrados a través del trabajo colaborativo para optimizar la producción y mejorar la calidad final en obra.

Objectives

Know the tools of the Lean philosophy from the initial design stage to the industrialized element placement stage. Manage the industrialization process, with the purpose of integrating all those involved through collaborative work to optimize production and improve the final quality on site.

Marco teórico

Industrialización

El proceso de industrializar implica trasladar los trabajos a un ambiente controlado fuera de obra, con mayor ingeniería de detalle, que permita optimizar el uso de materiales, eliminando ineficiencias en los procesos, como el transporte de materiales en diversas alturas, y la consecuente eliminación de los residuos que ya no se pueden reutilizar. Otro beneficio, es que se trabaja en un lugar cerrado donde las condiciones meteorológicas están controladas, y las condiciones de seguridad laboral también. (Peluso Gaya, 2021)

Entre las ventajas de la industrialización, se tiene que al aplicar esta en el sector construcción, se podría mejorar los plazos de entrega, eliminar desviaciones presupuestarias del proyecto, mejorar la calidad y ajustar el consumo de materiales. De esta forma, se reduciría notablemente el volumen de residuos de una edificación y los costes imprevistos en repasos finales de obra, atribuidos a la falta de control de calidad.

Se tiene como desafío hacer más atractivo el sector construcción para atraer y retener a los profesionales más talentosos. Una de las propuestas de mejora que dan solución a la escasez de mano de obra, es la industrialización, que, al ejecutarse en espacios controlados, en cuanto a producción, calidad y riesgos laborales, los costes son más estables, ofreciendo un mejor producto. Además, los operarios se sienten más a gusto trabajando en un ambiente más agradable, seguro y con mejores condiciones laborales, donde haya una mejor integración del talento humano, promoviendo la inclusión y la diversidad.

Gestión de procesos mediante herramientas Lean

La construcción sin pérdidas o también conocida como Lean Construction, fue planteada en 1990 como un enfoque basado en el sistema de producción de Toyota, aplicado a los proyectos de construcción.

Lauri Koskela (2000) establece principios clave de la construcción, como reducir las actividades o sus componentes que no agregan valor al producto, agregar valor al producto identificando de forma sistemática los requerimientos de los clientes, reducir la variabilidad y el tiempo de los ciclos de producción, simplificar los procesos reduciendo sus pasos, partes y relaciones, aumentar la flexibilidad de los procesos, mejorar la transparencia entre los procesos, focalizar los controles en los procesos globales, aplicar la mejora continua en el proceso (método Kaizen), controlar y referenciar, y finalmente hacer benchmarking.

En la imagen 1 se muestra la secuenciación de la aplicación de la metodología Lean, la cual consta, en primer lugar, de evaluar la viabilidad del proyecto arquitectónico en su concepción inicial, para seguir con una discusión de propuesta de modificación del diseño, posteriormente se entra en coordinación con el fabricante y se produce el elemento industrializable. Finalmente, se planifica la colocación en obra, analizando las posibles restricciones que deban atenderse.

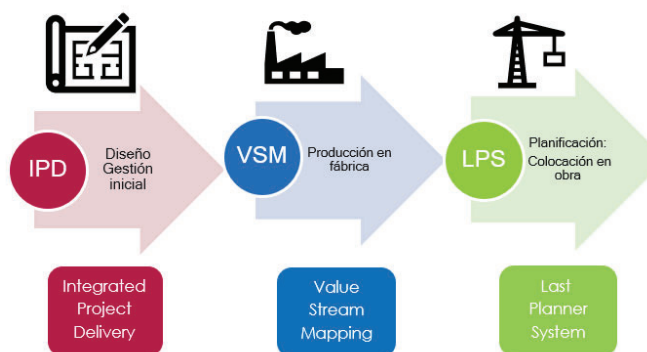


Imagen 1. Secuenciación de aplicación de metodología Lean.
Image 1. Lean methodology application sequencing

Integrated Project Delivery - IPD

De acuerdo con la actualización realizada por el Instituto Americano de Arquitectos (cuyas siglas en inglés son AIA) en el 2014, IPD “es un método de entrega de proyectos que integra personas, sistemas, estructuras comerciales y prácticas en un proceso que aprovecha de manera colaborativa los talentos y conocimientos de todos los participantes para reducir el desperdicio y optimizar la eficiencia a través de todas las fases de diseño, fabricación y construcción.

La metodología IPD es totalmente diferente al sistema tradicional de contrataciones Design-Bid-Build (diseño- licitación – construcción), dado que su propuesta consiste en involucrar desde un inicio tanto al diseñador, el propietario y al constructor. Además, promueve una política de transparencia, a la que le denomina Open Book, que quiere decir, que todos los involucrados acceden a la información de mediciones, proformas de subcontratistas y precios de los materiales ofertados por los proveedores. (Alvarez P., 2020)

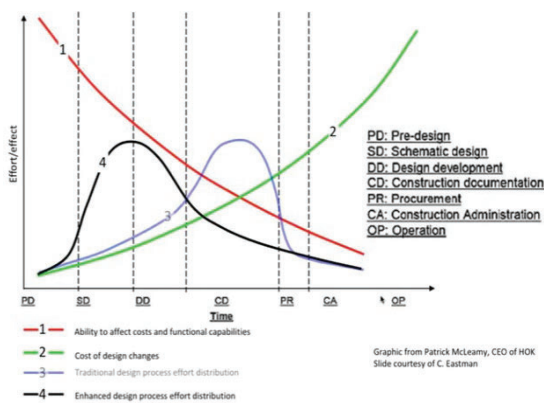


Imagen 2. Análisis del esfuerzo en un proyecto en función del tiempo
Image 2. Analysis of the effort in a project over time

En la imagen 2, se visualizan 4 curvas que demuestran el grado de influencia de cada una de las partes y los costes en función del tiempo, cuya curva 1 de color rojo muestra que se tiene una gran influencia en el diseño al principio del proyecto, la curva 2 de color verde significa que los cambios implican costes bajos al principio del proyecto, y se incrementan conforme éste avanza. La curva 3 de color azul muestra dónde está concentrado el esfuerzo en el proyecto. Según Mc Leamy, la curva 3 debe tender a convertirse en la curva 4, es decir, que el esfuerzo del proyecto empiece antes, lo que se traduce en que el constructor y sus subcontratistas principales deban entrar antes para solucionar indefiniciones y de esa manera, sean menos los costes para hallar y aplicar soluciones más eficaces. (Júdez, 2020)

Value Stream Mapping - VSM

El mapa de la cadena de valor (VSM) es una técnica para representar gráficamente los procesos de una empresa, y con esta visión gráfica reflejar también el flujo de la información entre los procesos, y así indicar qué hay que hacer, cómo y cuándo. Cabe señalar que este proceso no termina nunca, ya que cada vez que se alcanza el estado futuro hay que diseñar un nuevo futuro, a esto se le conoce como mejora continua, la cual se busca conseguir, como parte de los principios clave de la filosofía Lean. Muniyappa et al. (2014) señalan que para implementar el Value Stream Mapping, es necesario identificar el producto, conociendo las necesidades del cliente como primer paso, luego, se procede a crear el VMS de la situación actual, graficando los agentes externos como los proveedores y el cliente, así como dibujar líneas que señalen de manera clara el orden del proceso, luego se creará un VSM del estado futuro, proponiendo herramientas de mejora de la producción, y finalmente, implementar y practicar el plan final, con los tiempos optimizados, y con una disminución considerable de inventarios o pérdidas. Entre los beneficios del Value Stream Mapping, se tiene que proveer de una visión holística de todo el flujo, pues al mapear el flujo de valor, se puede lograr una mejor comprensión de todo el proceso. El VSM también ayuda a descubrir cualquier problema potencial de información que no sea fácil de identificar dentro del sistema de producción.

Last Planner System - LPS

De acuerdo con el Lean Construction Institute, el sistema del último planificador (traducido del inglés Last Planner System), es un sistema para la planificación y control de la producción de proyectos, orientado a crear un flujo de trabajo de alta confiabilidad y reducida variabilidad.

Se conoce como “último planificador” a aquel responsable que está a pie de obra en el día a día, y que conoce muy bien las restricciones y estado de las actividades en curso.

Para desarrollar el Last Planner System, se recomienda utilizar la programación en cascada, donde se divide la planificación a largo, mediano y corto plazo. Además, deben programarse reuniones de trabajo con los involucrados para identificar las restricciones antes de ejecutar cada actividad, y gestionar el “qué se puede hacer”; además de comunicar adecuadamente, el alcance y detalle de la ejecución de los trabajos.

Se dividen las tareas (líneas horizontales) en paquetes de trabajo con volúmenes similares entre sí, acorde con la capacidad de la mano de obra. Además, se debe organizar el trabajo por sectores, y deben identificarse las restricciones, de manera que el trabajo sea constante, fluido y no pare.

Para elaborar el plan de la semana siguiente, se debe elaborar un formato que incluya, al menos, un listado de actividades a ejecutar, el responsable de cada actividad, un compromiso asumido (cantidad, porcentaje y unidad de medida), el avance real diario proyectado y el diagrama de Gantt (si es necesario). (Pons & Rubio, 2019)

Antes de pasar a la planificación a corto plazo de la semana siguiente, se debe analizar el porcentaje del plan cumplido. Los criterios de evaluación son de tipo binario, es decir, o se cumplió al 100% la ejecución de una actividad, o se califica como “no cumplió”. Por lo que los trabajos que queden inconclusos serán calificados como trabajos no completados.

El porcentaje de plan cumplido es un indicador clave (key performance indicators, KPI son sus siglas en inglés), que mide qué tan buen planificador se ha sido, o en otras palabras, qué tan confiable es el equipo planificando. Se calcula mediante la fórmula [1]:

$$PPC (\%) = \frac{AC}{AP} \times 100 \quad [1]$$

Siendo AC el número de actividades completadas, y AP el número total de actividades planificadas

Después de haber calculado el porcentaje del plan cumplido, se procede a analizar las causas de no cumplimiento, a fin de buscar implementar herramientas de mejora, que permitan optimizar el proceso de planificación. Se recomienda utilizar metodologías que ayuden a identificar la causa raíz de los no cumplimientos, así como herramientas que ayuden a incrementar la producción

Theoretical framework. Process management through Lean tools

The industrialization process implies transferring the works to a controlled environment outside the work, with more detailed engineering, which allows optimizing the use of materials, eliminating inefficiencies in the processes, such as the transport of materials at different heights, and the consequent elimination of waste that can no longer be reused. Another benefit is that you work in a closed place where the meteorological conditions are controlled, and the work safety conditions as well. (Pelufo Gaya, 2021)

Among the advantages of industrialization, it is necessary to apply this in the construction sector, it could improve delivery times, eliminate budgetary deviations of the project, improve quality, and adjust the consumption of materials. In this way, the volume of waste in a building and the unforeseen costs in final revisions of work, attributed to the lack of quality control, would be significantly reduced.

The challenge is to make the construction sector more attractive to attract and retain the most talented professionals. One of the improvement proposals that provide a solution to the labor shortage is industrialization, which, when carried out in controlled spaces, in terms of production, quality and occupational risks, costs are more stable, offering a better product. In addition, operators feel more

comfortable working in a more pleasant and safe environment and with better working conditions, where there is a better integration of human talent, promoting inclusion and diversity.

Process management through Lean tools

Lossless construction, also known as Lean Construction, was proposed in 1990 as an approach based on Toyota's production system, applied to construction projects.

Lauri Koskela (2000) establishes key principles of construction, such as reducing activities or their components that do not add value to the product, adding value to the product by systematically identifying customer requirements, reducing variability and time of production cycles. production, simplify processes by reducing their steps, parts and relationships, increase the flexibility of processes, improve transparency between processes, focus controls on global processes, apply continuous improvement in the process (Kaizen method), control and referencing, and finally benchmarking.

Image 1 shows the sequencing of the application of the Lean methodology, which consists, in the first place of evaluating the feasibility of the architectural project in its initial conception, to continue with a discussion of the design modification proposal, later enters into coordination with the manufacturer and the industrialize element is produced. Finally, the work placement is planned, analyzing the possible restrictions that must be addressed.

Integrated Project Delivery - IPD

According to the update carried out by the American Institute of Architects (whose acronym in English are AIA) in 2014, IPD "is a project delivery method that integrates people, systems, business structures and practices in a process that takes advantage of the collaborative the talents and knowledge of all participants to reduce waste and optimize efficiency through all phases of design, manufacturing and construction.

The IPD methodology is totally different from the traditional Design-Bid-Build contracting system (design-bid-build), since its proposal consists of involving both the designer, the owner and the builder from the beginning. In addition, it promotes a transparency policy, which it calls Open Book, which means that all those involved have access to information on measurements, subcontractor proformas and prices of materials offered by suppliers. (Alvarez P., 2020)

In image 2, 4 curves are displayed that demonstrate the degree of influence of each of the parts and the costs as a function of time, whose red curve 1 shows that there is a great influence on the design at the beginning of the project, Curve 2 in green means that the changes imply low costs at the beginning of the project, and they increase as the project progresses. Curve 3 in blue shows where the effort is concentrated in the project. According to Mc Leamy, curve 3 should tend to become curve 4, that is, the project effort begins earlier, which means that the builder and its main subcontractors must enter earlier to solve uncertainties and thus, cost less to find and implement more effective solutions. (Júdez, 2020)

Value Stream Mapping - VSM

Value Stream Mapping (VSM) is a technique to graphically represent the processes of a company, and with this graphical vision also reflect the flow of information between the processes, and thus indicate what needs to be done, how and when. It should be noted that this process never ends, since every time the future state is reached, a new future must be designed, this is known as continuous improvement, which is sought to achieve, as part of the key principles of the philosophy Read.

Muniyappa et al. (2014) point out that to implement Value Stream Mapping, it is necessary to identify the product, knowing the client's needs as the first step, then proceed to create the VMS of the current situation, graphing external agents such as suppliers and the client, as well as drawing lines that clearly indicate the order of the process, then a VSM of the future state will be created, proposing production improvement tools, and finally, implementing and practicing the final plan, with optimized times, and with a considerable decrease in inventories or losses.

Among the benefits of Value Stream Mapping, it must provide a holistic view of the entire flow, because by mapping the value stream, a better understanding of the entire process can be achieved. The VSM also helps uncover any potential information issues that are not easily identifiable within the production system.

Last Planner System - LPS

According to the Lean Construction Institute, the last planner system (translated from English Last Planner System) is a system for planning and controlling project production, aimed at creating a workflow of high reliability and reduced variability.

The “last planner” is known as the person in charge who is on site on a day-to-day basis, and who knows very well the restrictions and status of ongoing activities.

To develop the Last Planner System, it is recommended to use cascade scheduling, where long-, medium- and short-term planning is divided. In addition, work meetings should be scheduled with those involved to identify the restrictions before executing each activity and manage the “what can be done”; in addition to adequately communicating the scope and detail of the execution of the works.

It is recommended to divide the tasks (horizontal lines) into work packages with similar volumes to each other, according to the capacity of the workforce. In addition, work must be organized by sectors, and restrictions must be identified, so that work is constant, fluid and does not stop.

To prepare the plan for the following week, a format must be prepared that includes, at least, a list of activities to be carried out, the person in charge of each activity, a commitment assumed (quantity, percentage, and unit of measurement), the actual daily progress projected and Gantt chart (if necessary). (Pons & Rubio, 2019)

Before moving on to short-term planning for the following week, you should analyze the percentage of the plan accomplished. The evaluation criteria are binary, that is, either the execution of an activity was 100% fulfilled, or it is classified as “not fulfilled”. Therefore, the works that remain unfinished will be classified as not completed works.

The percentage of the plan fulfilled is a key indicator (key performance indicators, KPI), which measures how good a planner has been, or in other words, how reliable is the planning team. It is calculated using the formula [1]:

$$\text{PPC (\%)} = \frac{\text{AC}}{\text{AP}} \times 100 \quad [1]$$

Where AC is the number of activities completed, and AP is the total number of planned activities.

After having calculated the percentage of the plan fulfilled, we proceed to analyze the causes of non-compliance, in order to seek to implement improvement tools that allow optimizing the planning process. It is recommended to use methodologies that help identify the root cause of non-compliance, as well as tools that help increase production.

Resultados

A continuación, se muestra la aplicación de las herramientas Lean a un caso práctico, el cual es un edificio plurifamiliar de 3 alturas. Se desea colocar módulos de fachada industrializada, con materiales energéticamente eficientes y sostenibles, según requerimiento y concepción de cliente y proyectista.

La primera herramienta Lean que se aplica es el Integrated Project Delivery - IPD, Partiendo de la propuesta inicial de diseño que va alineada al plan de negocio del propietario, el constructor empieza a

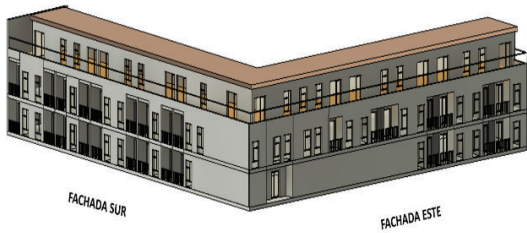


Imagen 3. Edificio de referencia caso de estudio

Image 3. Reference Building case study

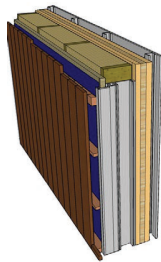


Imagen 4. Propuesta de diseño modular para fachada industrializada

Image 4. Modular design proposal for an industrialized facade

preparar el presupuesto, buscando conseguir una mejora en el coste, para el beneficio conjunto. Por esta razón, convocará a sus subcontratistas principales, para elaborar presupuestos y sugerir cambios sin afectar la calidad y concepto del proyecto. En la imagen 3 se ha realizado el modelado del edificio para uniformizar y poder replicar la mayor cantidad de módulos. Posteriormente, los subcontratistas y proveedores principales enviarán consultas al equipo de diseño, para poder recibir una validación de las posibles modificaciones que puedan hacerse al proyecto. Luego de revisarse y aprobarse la propuesta de los industriales, se procederá a elaborar el planeamiento general para la ejecución de la obra nueva. El siguiente paso es iniciar la fabricación de los módulos de fachada industrializada, a cargo del subcontratista, teniendo todos los detalles, características y dimensiones de los módulos, tal como se aprecia en la imagen 4. Luego de fabricar según la demanda y planificación del constructor, se transportan, izan y colocan los módulos de fachada en la posición que les corresponde, de acuerdo con planos.

La siguiente herramienta Lean que se aplica, es el Value Stream Mapping – VSM, que no sólo sirve para analizar el proceso de fabricación de los módulos, sino que también puede implementarse para mejorar otros procesos en obra. En la imagen 5 se ha planteado una situación inicial, luego de haber buscado un solar en el polígono industrial más cercano a la zona de trabajo, cuyas dimensiones han servido de referencia para distribuir y organizar los procesos internos. Luego de haber registrado el tiempo en segundos, minutos u horas, se proponen medidas correctivas que pueden ser otras herramientas Lean como Kanban, Poka Yoke, 5S y Just in Time.

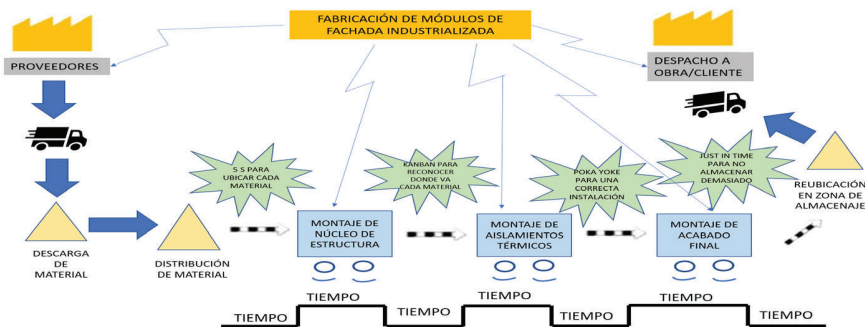


Imagen 5. Value Stream Mapping aplicado al proceso de fabricación en la industrialización 2D

Image 5. Value Stream Mapping applied to the 2D industrialization manufacturing process

La última herramienta que se aplicará será el Last Planner System. El primer paso para elaborar el look ahead, ha sido determinar la cantidad de módulos a fabricar e izar, por tanto, teniendo el número total de módulos, se puede dividir en múltiplos de la cantidad máxima de módulos a colocar diariamente. En este caso, se obtuvieron 135 módulos repartidos en las 3 plantas, cuyas tipologías y longitudes se aprecian en la imagen 8. Luego se procede a sectorizar las plantas, dividiendo la cantidad total de

módulos por planta entre 7, teniendo 7 sectores en planta baja, 8 sectores en planta primera y 5 sectores en planta segunda, tal como se muestra en la imagen 6. Además, se ha establecido un orden para la secuencia de izaje, el cual indica que una planta debe tener la totalidad de los módulos izados, para poder colocar los módulos de la planta superior. Esto se ve plasmado en el look ahead de la imagen 7.



Imagen 6. Ejemplo sectorización
Image 6. Sectorization example

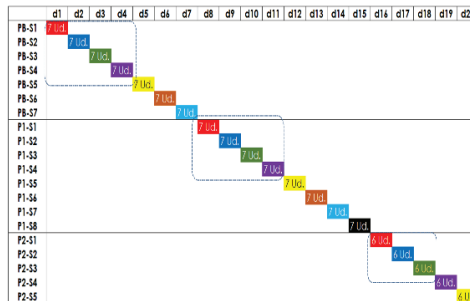


Imagen 7. Look Ahead de izaje de módulos
Image 7. Look Ahead of lifting



Imagen 8. Propuesta modular
Image 8. Modular Industrialization proposal

Results

Below is the application of Lean tools to a practical case, which is a multi-family 3-story building. It is desired to place industrialized façade modules, with energy efficient and sustainable materials, according to the requirement and conception of the client and designer.

The first Lean tool that is applied is the Integrated Project Delivery - IPD, starting from the initial design proposal that is aligned with the owner's business plan, the builder begins to prepare the budget, seeking to achieve an improvement in the cost, for the joint benefit. For this reason, it will summon its main subcontractors, to prepare budgets and suggest changes without affecting the quality and concept of the project. In image 3, the building has been modeled to make it uniform and to be able to replicate the largest number of modules. Subsequently, the subcontractors and main suppliers will send inquiries to the design team, to receive a validation of the possible modifications that may be made to the project. After reviewing and approving the industrialists' proposal, the general planning for the execution of the new work will be drawn up. The next step is to start the manufacture of the industrialized facade modules, by the subcontractor, having all the details, characteristics, and dimensions of the modules, as seen in image 4. After manufacturing according to the demand and planning of the builder, the facade modules are transported, hoisted, and placed in the position that corresponds to them, according to plans.

The next Lean tool that is applied is Value Stream Mapping - VSM, which not only serves to analyze the module manufacturing process but can also be implemented to improve other processes on site. In image 5 an initial situation has been proposed, after having searched for a site in the industrial estate closest to the work area, whose dimensions have served as a reference to distribute and organize internal processes. After having recorded the time in seconds, minutes or hours, corrective measures are proposed which can be other Lean tools such as Kanban, Poka Yoke, 5S and Just in Time.

The last tool to be applied will be the Last Planner System. The first step to develop the look ahead has been to determine the number of modules to be manufactured and hoisted, therefore, having the total number of modules, it can be divided into multiples of the maximum number of modules to be placed daily. In this case, 135 modules were obtained distributed over the 3 floors, whose typologies and lengths can be seen in image 8. Then the floors are divided into sectors, dividing the total number of modules per floor by 7, with 7 sectors on the ground floor, 8 sectors on the first floor and 5 sectors on the second floor, as shown in image 6. In addition, an order has been established for the lifting sequence, which indicates that a floor must have all the modules lifted, to be able to proceed to place the modules of the upper floor. This is reflected in the look ahead of image 7.

Conclusiones

- Llevar el sector construcción hacia la industrialización, es entregar un producto final, que sale de una fábrica, cuyo proceso es analizado constantemente, a fin de ofrecer una mejora continua que aporta valor al cliente, eliminando errores, una vez alcanzada la curva de aprendizaje de los trabajadores que se especializan y se dedican a tiempo completo a realizar actividades rutinarias que pueden ser optimizadas.
- Para poder implementar la industrialización, es importante emplear la herramienta IPD, pues deben realizarse las coordinaciones desde el inicio del proyecto, a fin de que se concentre el esfuerzo de los involucrados con la anticipación oportuna, teniendo planos de detalles, procedimientos claros y materiales definidos, así como las soluciones constructivas establecidas a tiempo, y con ello evitar apagar incendios de último momento, que desvía la atención de la programación del resto de actividades de obra.
- Durante el desarrollo del caso práctico se han aplicado herramientas Lean, como Integrated Project Delivery, Value Stream Mapping y Last Planner System, así como herramientas adicionales como 5S, Kanban, Poka Yoke, Just in Time, Layout o distribución en planta. Los cuales conllevan a minimizar las pérdidas, trabajar de manera ordenada, secuenciada y en constante coordinación, favoreciendo la constante comunicación entre los involucrados.

Conclusions

- Bringing the construction sector towards industrialization, is to deliver a final product, which leaves a factory, whose process is constantly analyzed, in order to offer continuous improvement that adds value to the client, eliminating errors, once the learning curve has been reached. of workers who specialize and dedicate full time to routine activities that can be optimized.
- In order to implement industrialization, it is important to use the IPD tool, since the coordination must be carried out from the beginning of the project, in order to concentrate the effort of those involved with the opportune anticipation, having detailed plans, clear procedures and materials. defined, as well as the constructive solutions established on time, and thus avoid putting out last-minute fires, which diverts attention from the scheduling of the rest of the work activities.
- During the development of the practical case, Lean tools have been applied, such as Integrated Project Delivery, Value Stream Mapping and Last Planner System, as well as additional tools such as 5S, Kanban, Poka Yoke, Just in Time, Layout or plant distribution. Which lead to minimize losses, work in an orderly, sequenced and in constant coordination, favoring constant communication between those involved.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Alvarez P., M. A. (2020). La implantación del sistema del diseño de valor objetivo y los métodos de contratación colaborativa (TVD E IPD) en el proceso edificatorio en ESPAÑA (Vol. 1) [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid] . Madrid.
- Koskela, L. (2000). An exploration towards a production theory and its application to construction. [Tesis Doctoral, Helsinki University of Technology] Helsinki.
- Muniyappa, M., Prasad, S., Kumar, K., & Puthran, D. (Abril de 2014). Value Stream Mapping : A Lean Tool. The International Journal of Business & Management.
- Pons, J. F., & Rubio, I. (2019). Colección guías prácticas de Lean Construction y la planificación colaborativa. Metodología del Last Planner System. (C. G. España, Ed.) Madrid, España.

MONITORIZACIÓN DE LA CORROSIÓN EN LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO. PARTE 1

CORROSION MONITORING ON REINFORCED CONCRETE SLABS. PART 1

Josep Ramon Lliso-Ferrando

Investigador en el Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM).
Universitat Politècnica de València. E-mail: jollife2@arq.upv.es
Researcher in the Institute for Molecular Recognition and Technological Development (IDM), Universitat Politècnica de València.
E-mail: jollife2@arq.upv.es

Erika Juliana Pacheco-García

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación (ETSIE). Universitat Politècnica de València. E-mail: erpacgar@edificacion.upv.es
School of Building Engineering (ETSIE), Universitat Politècnica de València. E-mail: erpacgar@edificacion.upv.es

Isabel Gasch Molina

Investigadora en el Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM).
Universitat Politècnica de València. E-mail: igasch@mes.upv.es
Researcher in the Institute for Molecular Recognition and Technological Development (IDM), Universitat Politècnica de València.
E-mail: igasch@mes.upv.es

Ana Martínez-Ibernón

Investigadora en el Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM).
Universitat Politècnica de València. E-mail: anmarib@arqt.upv.es
Researcher in the Institute for Molecular Recognition and Technological Development (IDM), Universitat Politècnica de València.
E-mail: anmarib@arqt.upv.es

José Manuel Gandía-Romero

Investigador en el Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM).
Universitat Politècnica de València. E-mail: joganro@csa.upv.es
Researcher in the Institute for Molecular Recognition and Technological Development (IDM), Universitat Politècnica de València.
E-mail: joganro@csa.upv.es

Manuel Valcuende Payá

Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. E-mail: mvalcuen@csa.upv.es
Department of Architectural Constructions, Universitat Politècnica de València. E-mail: mvalcuen@csa.upv.es

Juan Soto Camino

Investigador en el Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM).
Universitat Politècnica de València. E-mail: jsotoca@upv.es
Researcher in the Institute for Molecular Recognition and Technological Development (IDM), Universitat Politècnica de València.
E-mail: jsotoca@upv.es

Abstract

Corrosion of reinforcements is one of the main causes of early failure in reinforced concrete structures. Despite there are numerous examples of embedded monitoring systems that have emerged in recent years, these tools are not entirely accurate. This is due to the fact the implemented sensors do not fully reproduce the inner state of the nearest reinforcements, as they do not participate in the macrocell processes that may originate internally in reinforced concrete pieces. These sensors only consider local or microcell corrosion currents.

For these reasons, the present study includes an example of corrosion monitoring process on reinforced concrete slabs. In this case, both, microcell and macrocell corrosion currents were considered. This study was carried out on pieces in which the reinforcements were under the initial passivity condition. In a second part of this work, the corrosion phenomena were analysed when one part of the reinforcements was in active corrosion condition while the rest of the reinforcements remained in passive conditions.

Keywords

Corrosion Monitoring, Durability, Reinforced Concrete Slabs

Introducción

La corrosión de las armaduras es un daño muy frecuente en las estructuras de hormigón armado. El deterioro que sufren los refuerzos genera la pérdida de sección y una merma en la adherencia acero-hormigón. Todo ello propicia la aparición prematura de daños estéticos en los elementos afectados por este fenómeno, y, progresivamente, un descenso en la capacidad mecánica de las piezas. Estos hechos conducen a la reducción de la vida útil de las estructuras de hormigón armado, con el impacto económico y medioambiental que lleva asociado (Angst 2018).

Para combatir este daño y su repercusión, desde la década de los 90 muchos autores han propuesto sistemas de monitorización embebidos para el estudio de la corrosión de las armaduras. Se trata de elementos aislados sobre los que se aplica una técnica electroquímica para determinar la intensidad de corrosión (Martínez and Andrade 2009; Broomfield, Davies, and Hladky 2002; Figueira 2017; Duffó and Farina 2009). El potencial de estos sistemas reside en que pueden ser embebidos durante la fabricación de las piezas y ser útiles para monitorizar zonas que posteriormente serán inaccesibles, como elementos enterrados o sumergidos. Algunos autores también han propuesto sistemas para ser implementados en obras existentes (Broomfield, Davies, and Hladky 2002).

Sin embargo, la principal limitación con la que cuentan estos sistemas es que el estado del sensor no es representativo del estado de las armaduras más próximas (Ramon Zamora 2018). Durante la ejecución de las estructuras es muy habitual que las armaduras queden interconectadas entre ellas. Además, es muy frecuente que las diferentes zonas del armado interactúen entre ellas originando las denominadas corrientes de macrocelda. Este fenómeno genera un flujo de electrones desde las zonas con potenciales más negativos (ánodos) a las regiones con potenciales más positivos (cátodos) (Imagen 1). En este caso, la mayoría de los sistemas de monitorización diseñados hasta el momento emplean sensores que permanecen aislados del armado, y, por tanto, no participan de los procesos de macrocelda originados en su entorno. Este hecho genera que el estado del sensor no sea del todo representativo del estado en el que se encuentran las armaduras más próximas, ya que únicamente tiene en cuenta las corrientes de corrosión por microcelda o local. Son muy pocos los ejemplos que han tenido en cuenta este detalle y han diseñado sensores que permanezcan conectados a las armaduras para su participación en los procesos de macrocelda. Sin embargo, para llevar a cabo las medidas de la corrosión, los sensores también son aislados, por lo que tampoco se tienen en cuenta los procesos de macrocelda.

Este estudio recoge, en primer lugar, una descripción teórica de las corrientes de macrocelda a partir de los diagramas de Butler-Volmer. Posteriormente, se presenta un trabajo de monitorización de la corrosión (microcelda y macrocelda) llevado a cabo sobre losas de hormigón armado. En este caso, se estudiará el fenómeno de la corrosión cuando el conjunto de los refuerzos se encuentra en estado pasivo. En una segunda parte, complementaria a este trabajo, se analizó el fenómeno de la corrosión una vez parte del armado alcanzó un estado activo de corrosión.

Corrientes de macrocelda: descripción teórica

Las corrientes de macrocelda se producen en las estructuras de hormigón armado debido a la existencia de regiones de los refuerzos con distinto potencial electroquímico (Bertolini et al. 2013). Esto se debe a la heterogeneidad del hormigón. Sin embargo, mientras el conjunto de las armaduras permanezca en estado pasivo su repercusión es despreciable (Bertolini et al. 2013).

Una vez aparecen regiones en estado activo de corrosión, las corrientes de macrocelda adquieren un carácter mucho más importante debido a unos gradientes de potencial mucho más grandes (Bertolini et al. 2013).

Para llevar a cabo el estudio teórico de las macroceldas se tomará el ejemplo de este último caso, dos armaduras, una en estado pasivo y otra en estado activo de corrosión. En primer lugar, se analizarán de manera independiente dos refuerzos que se encuentran embebidos en la misma pieza de hormigón, pero que permanecen aislados eléctricamente. El estado de cada pieza se define mediante las ecuaciones de Butler-Volmer. Estas ecuaciones corresponden al sumatorio de las corrientes anódicas y catódicas de microcelda (Stern, 1957; Warkus and Raupach, 2006). Para distinguirse, se ha utilizado el subíndice “a” para la armadura en estado activo de corrosión y “p” aquella que se encuentra en estado pasivo:

Introduction

Corrosion of reinforcements is a very common damage in reinforced concrete structures. This phenomenon causes section loss and a decrease in the bond between steel and concrete. All these facts lead to the premature appearance of aesthetic damage on elements affected by it and, progressively, to a decrease in the mechanical behaviour of the affected pieces. All this causes a reduction in the service life of reinforced concrete structures, in conjunction with the associated economic and environmental impact (Angst 2018).

To confront this phenomenon and its repercussions, many authors have proposed embedded monitoring systems for studying the reinforcements' corrosion since the nineties. These systems include sensors that are isolated elements on which an electrochemical technique is applied to determine the corrosion intensity (Martínez and Andrade 2009; Broomfield, Davies, and Hladky 2002; Figueira 2017; Duffó and Farina 2009). The potential of these systems lies they can be embedded before the casting process and can be very useful for monitoring pieces that will be inaccessible, such as buried or submerged elements. Some authors have also proposed systems to be implemented in existing structures (Broomfield, Davies, and Hladky 2002).

However, these systems include a great limitation. The sensor condition is not representative of the inner state of the nearest reinforcements (Ramon Zamora 2018). During casting process, it is very common reinforcements become electrically connected. In addition, it is also very usual the reinforcements of different areas interact with each other, giving rise to so-called macrocell corrosion currents. This phenomenon generates an electron flow from the areas with more negative potentials (anodes) to the regions with more positive potentials (cathodes) (Image 1). In this case, most of the monitoring systems designed so far employ sensors that remain isolated from the rebars, and therefore, they do not participate in the macrocell processes originated. This means the sensor condition is not fully representative of the reinforcements' condition. Very few examples have taken this detail into account and have included sensors that remain connected to the rebars for their participation in the macrocell processes. However, all of them are also isolated during the corrosion measurements, so macrocell processes are not considered.

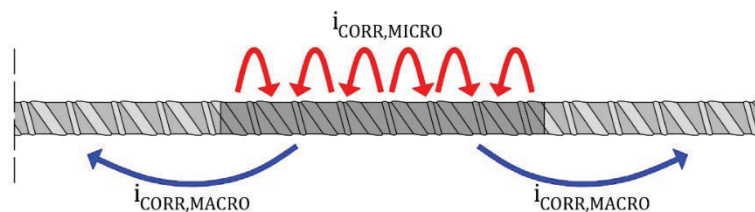


Imagen 1. Esquema de las corrientes de microcelda y macrocelda en armaduras embebidas en hormigón

Image 1. Graphical

description of microcell and macrocell corrosion currents in rebars embedded in concrete

This study first presents a theoretical description of macrocell currents based on Butler-Volmer diagrams. Subsequently, a corrosion monitoring work (taking into account microcell and macrocell) is presented. It was carried out on reinforced concrete slabs. In this case, the corrosion phenomenon is studied when all the reinforcements are in passive conditions. In a second part, complementary to this work, the corrosion phenomenon was analysed once part of the reinforcements reached an active state of corrosion.

Macrocell corrosion currents: a theoretical description

Macrocell corrosion currents occur in reinforced concrete structures due to the existence of reinforcement regions having different electrochemical potentials (Bertolini et al. 2013). This fact happens due to the heterogeneity of concrete. However, as long as reinforcements as a whole remain in passive conditions, macrocell impact is negligible (Bertolini et al. 2013).

Once some regions reach the active corrosion condition, macrocell currents take on a much more important character due to larger potential gradients (Bertolini et al. 2013). In order to carry out a theoretical study of macrocells, the next example will be taken: two reinforcements, one in a passive condition and the other in an active corrosion condition.

$$i_a = i_{corr}^a \cdot \left(e^{\frac{(E^a - E_{corr}^a)}{\beta_a^a}} - e^{\frac{-(E^a - E_{corr}^a)}{\beta_c^a}} \right) \quad (1)$$

$$i_p = i_{corr}^p \cdot \left(e^{\frac{(E^p - E_{corr}^p)}{\beta_a^p}} - e^{\frac{-(E^p - E_{corr}^p)}{\beta_c^p}} \right) \quad (2)$$

donde i_a e i_p son los valores de la corriente de corrosión que fluyen de la interfaz de ambos metales respectivamente. El resto de los parámetros corresponden a:

$-i_{corr}^a$ e i_{corr}^p son las corrientes de corrosión que se generan en la superficie de cada armadura. Debido al estado cinético de cada pieza, se puede afirmar que $i_{corr}^a \gg i_{corr}^p$;

$-E_{corr}^a$ y E_{corr}^p corresponden al potencial de corrosión de cada armadura. Atendiendo al estado electroquímico de cada pieza se puede afirmar que $E_{corr}^a < E_{corr}^p$;

$-E^a$ y E^p corresponden a los potenciales de polarización de cada pieza respectivamente;

$-\beta_a$ y β_c se refieren a los coeficientes anódico y catódico de Tafel respectivamente.

La imagen 2 representa gráficamente las dos ecuaciones anteriores para un sistema compuesto por dos elementos eléctricamente aislados que se encuentran en distinto estado electroquímico: uno en condición de corrosión activa (línea morada) y otro en estado pasivo (línea verde). En la Imagen 2 se presentan también las intensidades anódicas y catódicas de cada sistema (líneas discontinuas).

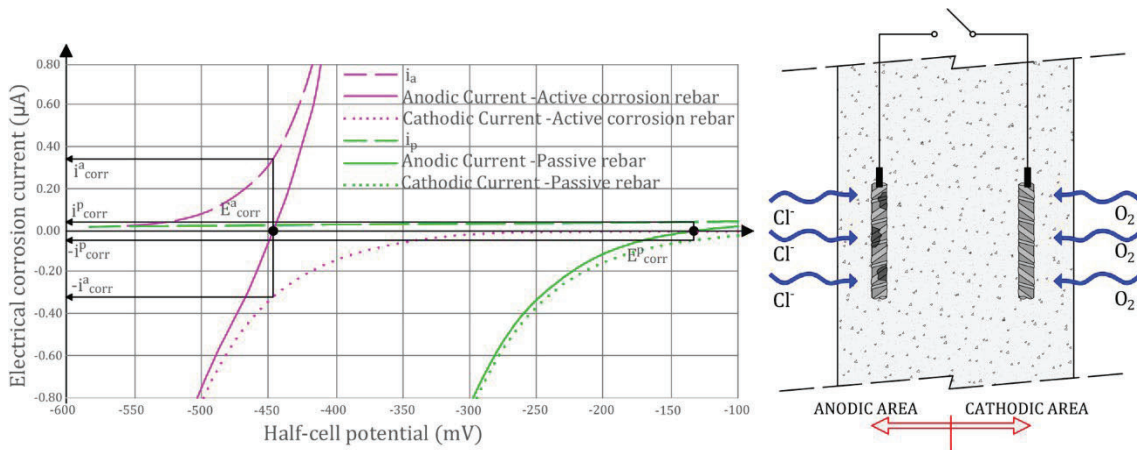


Imagen 2. Diagrama de Butler-Volmer de dos armaduras aisladas eléctricamente. Descripción gráfica en un caso real. Image 2. Butler-Volmer diagram of the two isolated electrodes. Graphical description using a real situation.

Sin embargo, esta situación descrita en la Imagen 2 no representa en realidad lo que ocurre normalmente en las estructuras de hormigón. Como se adelantó en la introducción de este trabajo, las armaduras permanecen conectadas eléctricamente, propiciando las corrientes de macrocelda, las cuales generan un fenómeno de polarización considerable, y que se resumen en:

-el metal en estado activo de corrosión es polarizado hacia potenciales más positivos, lo que resulta en una intensidad de corriente eléctrica positiva (i_a);

-el metal en estado pasivo de corrosión es polarizado hacia potenciales más negativo, lo que genera en una intensidad de corriente negativa (i_p). Esta situación se describe en la Imagen 3.

Como se puede apreciar en la Imagen 3, ambos sistemas alcanzan un estado de equilibrio para una diferencia de potencial determinada (ΔE). Como consecuencia de la conexión de ambas armaduras, el nuevo sistema originado alcanza un equilibrio que cumple:

$$i_a = -i_p = i_{macro} \quad (3)$$

$$E^p - E^a = R_{ohm} \cdot i_{macro} \quad (4)$$

The two pieces are embedded in the same concrete element, but firstly, they remain electrically isolated. The state of each rebar is defined by the Butler-Volmer equations. These equations correspond to the sum of the anodic and cathodic microcell corrosion currents (Stern, 1957; Warkus and Raupach, 2006). To distinguish between them, the subscript “a” has been used for the rebar in active corrosion conditions and “p” for the rebar in passive conditions:

$$i_a = i_{corr}^a \cdot \left(e^{\frac{(E^a - E_{corr}^a)}{\beta_a^a}} - e^{-\frac{(E^a - E_{corr}^a)}{\beta_c^a}} \right) \tag{1}$$

$$i_p = i_{corr}^p \cdot \left(e^{\frac{(E^p - E_{corr}^p)}{\beta_a^p}} - e^{-\frac{(E^p - E_{corr}^p)}{\beta_c^p}} \right) \tag{2}$$

where i_a e i_p are the corrosion current intensities flowing from the interface of each rebar respectively. The other parameters correspond to:

- i_{corr}^a e i_{corr}^p correspond to the corrosion currents generated at the surface of each rebar. Due to the kinetic condition of each piece, it can be stated that $i_{corr}^a \gg i_{corr}^p$;

- E_{corr}^a y E_{corr}^p correspond to the corrosion potential of each reinforcement. According to the electrochemical condition of each piece, it can be stated that $E_{corr}^a < E_{corr}^p$;

- E^a y E^p correspond to the polarization potentials of each rebar respectively;

- β_a y β_c refer to the anodic and cathodic Tafel coefficients respectively.

Image 2 depicts graphically the two equations described above (system composed by two electrically isolated rebars: one in active corrosion condition (purple line) and a second one in passive conditions (green line). Image 2 also shows the anodic and cathodic semi reactions of each system (dashed lines).

However, the situation described in Image 2 does not actually represent what normally occurs in reinforced concrete structures. As mentioned in the introduction part of this work, the reinforcement remains electrically connected, leading to macrocell currents, which generate strong polarization phenomena, and which can be summarized as follows:

-the metal in active condition is polarized towards more positive potentials, resulting in a positive electric current intensity (i_a);

-the metal in passive state is polarized towards more negative potentials, resulting in a negative current intensity (i_p). This situation is described in Image 3.

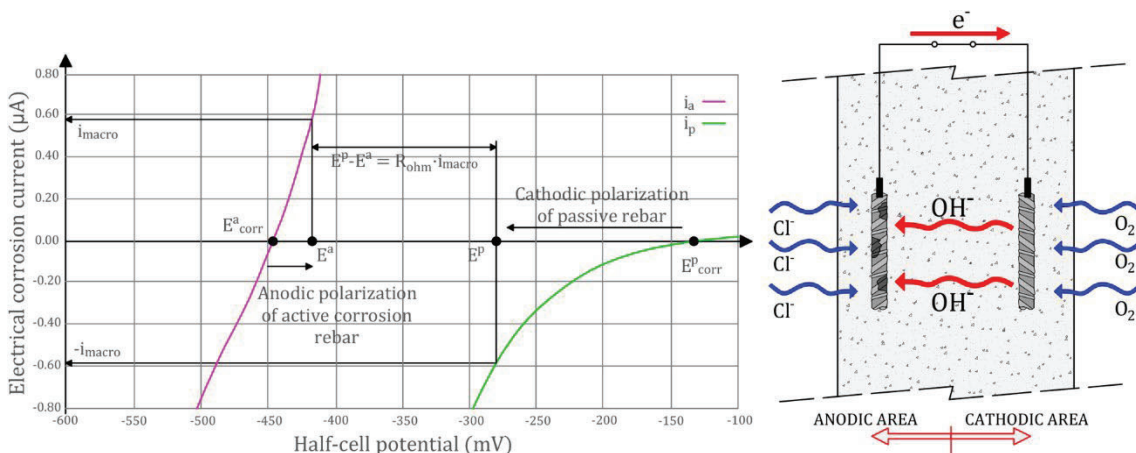


Imagen 3. Diagrama de Butler-Volmer de dos armaduras conectadas eléctricamente. Descripción gráfica en un caso real. Image 2. Butler-Volmer diagram of the two electrically connected. Graphical description using a real situation.

As can be seen in Image 3, both systems reached an equilibrium condition for a given potential difference (ΔE). Because of the connection between rebars, the newly created systems fulfil:

donde i_{macro} corresponde a la intensidad de corriente de macrocelda entre las dos armaduras y R_{ohm} corresponde a la caída óhmica, en este caso, la resistencia que ofrece el hormigón a la movilidad iónica. Estos dos parámetros deben cumplir la Ley de Ohm, y su producto debe ser igual a la diferencia de potencial entre ambas armaduras tras su polarización.

Plan Experimental

Materiales

Con la finalidad de estudiar las corrientes de macrocelda y los procesos de corrosión en elementos de hormigón armado, se fabricaron dos losas como las que se describen en la Imagen 4.

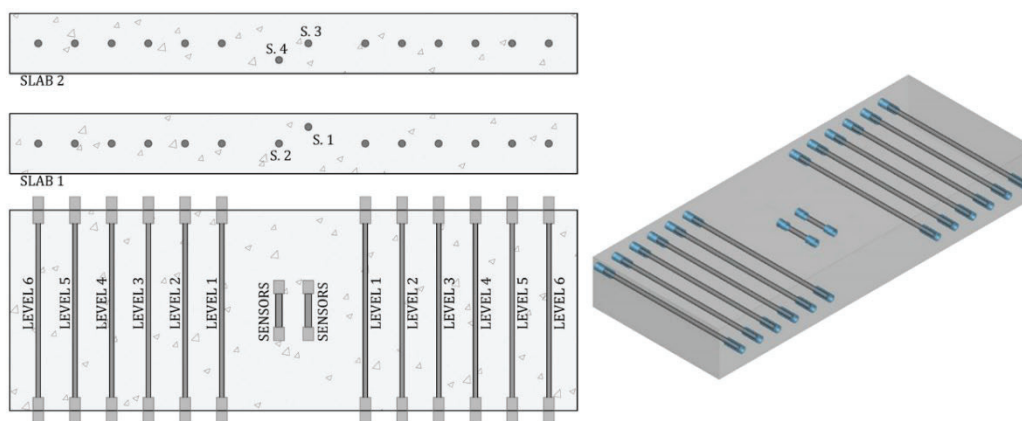


Imagen 4. Losas de hormigón armado fabricadas.

Image 4. Reinforced concrete slabs prepared for this study

Como se puede ver en la Imagen 4 se trata de dos losas de 85x30x9 cm. Cada losa cuenta con dos sensores en la zona central (acero al carbono, $\varnothing 10 \times 5$ cm) con cableado hasta el exterior de la pieza. El sensor 1 contaba con un recubrimiento de 2,5 cm, los sensores 2 y 3, 5 cm y el sensor 4 7,5 cm. Además, en cada losa se colocaron 12 armaduras más, organizadas en 6 niveles en función de la distancia hasta la zona central. Cada armadura auxiliar (acero al carbono, $\varnothing 10 \times 28$ cm) fue preparada con dos encamisados de PVC en sus extremos y cableado hasta el exterior de la pieza. Las superficies efectivas de cada sensor fueron 15,71 cm² y 87,96 cm² para cada armadura de montaje.

Las dos losas fueron fabricadas con un hormigón convencional, cuya dosificación se muestra en la Tabla 1.

The two slabs were manufactured using an ordinary concrete (the dosage is shown in Table 1).

Tabla 1 Dosificaciones (kg/m³ de hormigón)

Table 1 Dosages (kg/m³ of concrete)

Cemento / Cement	Agua / Water	Grava / Gravel	Arena / Sand	Superplastificante / Superplasticizer
301.5	195	490.78	1438.15	1.85

Se trata de un hormigón convencional con una relación agua/cemento de 0,60 y que fue fabricado con cemento CEM II/B-L 32,5N. Una vez fueron fabricadas las piezas, estas se mantuvieron en sus moldes las primeras 48 horas. Posteriormente, fueron desmoldadas y almacenadas en condiciones de laboratorio hasta cumplir la edad de 28 días.

Transcurridos los primeros 28 días de edad, ambas losas fueron sometidas a un proceso de seguimiento y monitorización de la corrosión (únicamente los sensores). Para ello, los sensores de cada losa fueron divididos en dos: un sensor de cada pieza se mantuvo aislado del resto de las armaduras de la losa durante todo el periodo de estudio. El sensor restante fue conectado diariamente a distintos niveles de armados, con la finalidad de generar distintas relaciones de superficies cátodo-ánodo, tal y como se muestra en la Tabla 2. Durante este proceso, tanto la corrosión local como por macrocelda fueron monitorizadas.

$$i_a = -i_p = i_{macro} \quad (3)$$

$$E^p - E^a = R_{ohm} \cdot i_{macro} \quad (4)$$

where i_{macro} corresponds to the macrocell current between the two rebars and R_{ohm} corresponds to the ohmic drop, in this case, the opposition of concrete to ionic mobility. These two parameters must comply with Ohm's Law, and their product must be equal to the potential difference between the two rebars after polarization.

Experimental Plan

Materials

For studying macrocell currents and corrosion phenomena in reinforced concrete pieces, two slabs as described in Image 4 were manufactured.

As can be seen in Image 4, two slabs were manufactured (85x30x9 cm). In the central part of each slab, two sensors were included (carbon steel, $\varnothing 10 \times 5$ cm). Each sensor was prepared including a wire to the external part of the piece. Sensor 1 was located having 2.5 cm, sensors 2 and 3 5 cm, and sensor 4, 7.5 cm concrete cover. In addition, 12 more rebars were included, arranged in 6 levels according to the distance to the central area. Each auxiliary rebar (carbon steel, $\varnothing 10 \times 28$ cm) was prepared with two PVC pieces at the ends and wired to the external part of the slab. The effective area of each sensor was 15.71 cm² and 87.96 cm² for each auxiliary reinforcement.

As can be seen in Table 1, the water/cement ratio used was 0.6, and it was manufactured using CEM II/B-L 32.5N cement. Once the pieces were manufactured, they were kept in their moulds for the first 48 hours. Subsequently, they were demoulded and stored in laboratory conditions until they reached the age of 28 days.

After the first 28 days, the slabs were subjected to a corrosion monitoring process (on sensors). For this purpose, the sensors of each slab were divided into two groups: one sensor of each piece was kept isolated from the auxiliary reinforcements during the whole study period. The second sensor was connected daily to different levels in order to generate different cathode-anode surface ratios, as shown in Table 2. During this process, both local and macrocell corrosion currents were monitored.

Tabla 2 Relaciones de superficies cátodo/ánodo
Table 2 Cathode/anode surface ratios

Niveles conectados / Levels	Relación cátodo/ánodo / Cathode/anode surface ratio
0	0
1	11.20
1+2	22.40
1+2+3	33.60
1+2+3+4	44.79
1+2+3+4+5	55.99
1+2+3+4+5+6	67.19

During the monitoring process, the macrocell corrosion current ($i_{CORR,MACRO}$) was measured using a Zero Resistance Ammeter (ZRA). This tool was connected between the auxiliary reinforcements and sensor to obtain the current flow between them. Once obtained, the result was normalized by the sensor area (15.71 cm²) in order to obtain the macrocell corrosion density. Once this analysis was completed, the microcell or local corrosion intensity ($i_{CORR,MICRO}$) was analysed. The potentiostatic pulse technique (PSV) was used for this purpose. This technique has been developed and patented in UPV. The total corrosion of each sensor was subsequently obtained through the sum of both, microcell and macrocell corrosion densities.

Results

Images 5 and 6 show the results obtained for both, corrosion potential (E_{CORR}) and total corrosion (i_{CORR}).

Durante el proceso de monitorización llevado a cabo, la intensidad de corrosión por macrocelda, $i_{CORR,MACRO}$, fue medida con un amperímetro de resistencia casi nula (ZRA). Esta herramienta se conectó entre los niveles de armado general y el sensor para obtener el flujo de corriente entre ambos. Una vez obtenido, fue normalizado por la superficie del sensor ($15,71 \text{ cm}^2$) para obtener la densidad de corriente por macrocelda. Una vez finalizado el análisis de las corrientes de macrocelda se analizó la intensidad de corrosión local, $i_{CORR,MICRO}$. Para ello se utilizó la técnica del pulso potencioestático, validada y desarrollada en la UPV. La corrosión total de cada sensor fue obtenida posteriormente a través de la suma de ambas corrientes, tal y como se describe en la Ecuación 5.

$$i_{CORR} = i_{CORR,MICRO} + i_{CORR,MACRO} \quad (5)$$

Resultados

En las Imágenes 5 y 6 se recogen los resultados obtenidos tanto del potencial de corrosión (E_{CORR}) como de la intensidad de corrosión (i_{CORR}) durante el periodo de seguimiento y monitorización.

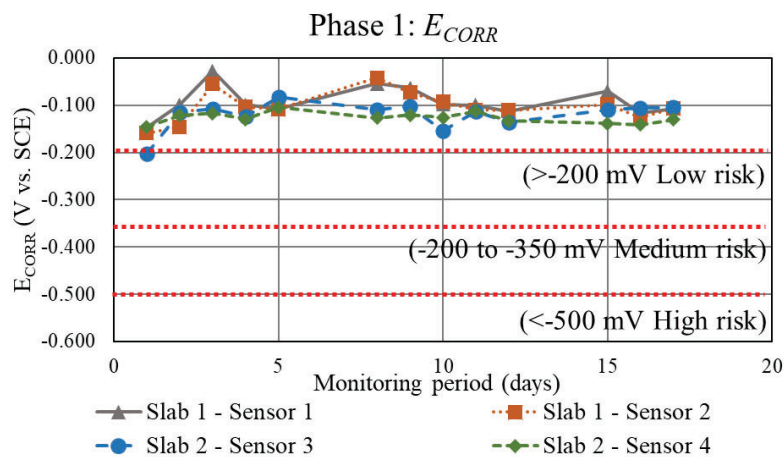


Imagen 5. Evolución del potencial de corrosión (E_{CORR}).

Image 5. Corrosion potential evolution (E_{CORR})

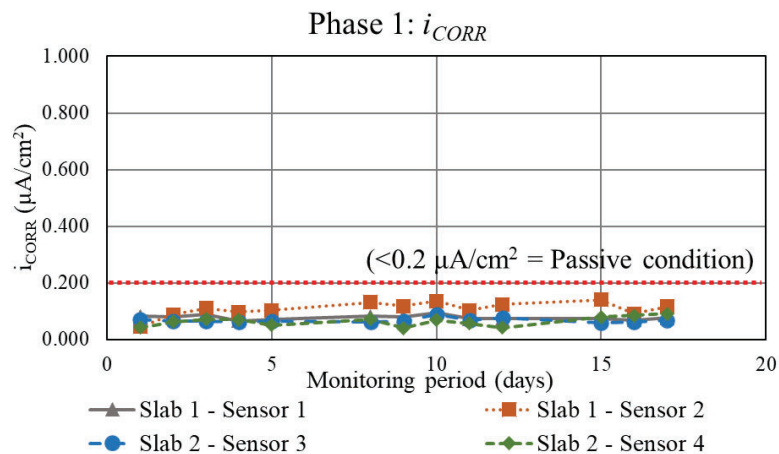
Conclusiones

Tanto el potencial de corrosión (E_{CORR}) como de la intensidad de corrosión (i_{CORR}) mostraron valores por debajo del umbral crítico establecido por diferentes normas y recomendaciones para considerar que se encontraban en estado activo de corrosión. Estos datos demuestran que, tras el periodo de curado, las armaduras permanecieron en estado pasivo de corrosión durante la duración del estudio (primeras tres semanas).

Además, otra de las conclusiones que se puede extraer de los resultados obtenidos es la escasa influencia de las corrientes de macrocelda cuando las armaduras se encuentran en estado pasivo. Como se pudo apreciar, los resultados obtenidos se mantuvieron por debajo de $0,2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ independientemente de la relación de superficies cátodo-ánodo empleada.

Futuros Trabajos

Para profundizar en el estudio de las corrientes de macrocelda, en la segunda parte de este estudio se planteó la posibilidad de continuar el seguimiento de la corrosión cuando parte de las armaduras se encuentran en estado activo. Para ello, al finalizar este primer periodo de monitorización se instaló sobre la parte central de la pieza un depósito preparado con tubería circular de PVC ($\varnothing 16$ y 50 cm de alto). Este depósito abarcaba la zona donde se localizaban los sensores y fue relleno con agua con cloruros. Durante más de 100 días se realizó una monitorización de la corrosión de los sensores embebidos, los cuales permanecieron de manera permanente aislados del resto del armado, considerándose esta vez, únicamente la intensidad de corrosión local ($i_{CORR,MICRO}$). En la segunda parte de este trabajo se presentarán los resultados obtenidos en esta segunda etapa y una tercera fase del estudio donde también se tuvo en cuenta la influencia de las corrientes de macrocelda.

Imagen 6. Evolución de la intensidad de corrosión (i_{CORR}).Image 6. Corrosion current evolution (i_{CORR})

Conclusions

Both, corrosion potential and corrosion density showed values below the critical threshold established by different standards and recommendations to be considered they are not under passive condition. These data show that, after the curing period, the rebars remained in passive condition during the study period.

Furthermore, a second conclusion can be drawn from the results obtained is that macrocell currents have a little impact when the reinforcement is in passive conditions. As could be seen, the results obtained remained below $0.2 \mu A/cm^2$ regardless of the cathode-anode surface ratio generated.

Future Works

In order to further study the macrocell corrosion currents, in the second part of this study, the monitoring process was performed once some rebars reached the active corrosion condition. To this end, after the first analysis period, two tanks were installed on top of each slab using a circular PVC pipe ($\varnothing 16$ y 50 cm high). This tank covered the central area, where sensors were located. The tanks were filled with seawater. For more than 100 days, corrosion monitoring was carried out on the embedded sensors, which remained permanently isolated from the rest of the auxiliary reinforcements (only $i_{CORR,MICRO}$ was considered). The second part of this work will present the results obtained in this second stage and a third phase of the study, where the influence of the macrocell corrosion currents was also taken into account.

AGRADECIMIENTOS/ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Spanish Government for the Grant PID2020-119744RB-C21 funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033. Furthermore, they thank the support of the Universitat Politècnica de València. The predoctoral scholarship granted to Josep Ramon Lliso Ferrando as part of the “Formación de Personal Investigador” programme from the Universitat Politècnica de València (FPI-UPV-2018) and the Grant FPU 16/00723 funded by MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 and by “ESF Investing in your future”.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Angst, Ueli M. 2018. "Challenges and Opportunities in Corrosion of Steel in Concrete." *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 51 (1): 1–20.
<https://doi.org/10.1617/s11527-017-1131-6>.
- Bertolini, L., B. Elsener, P. Pedferri, E. Redaelli, and R. Polder. 2013. *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis and Repair*. Edited by Wiley VCH.
- Broomfield, John P., Kevin Davies, and Karel Hladky. 2002. "The Use of Permanent Corrosion Monitoring in New and Existing Reinforced Concrete Structures." *Cement and Concrete Composites* 24 (1): 27–34. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00024-5](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00024-5).
- Duffó, Gustavo S., and Silvia B. Farina. 2009. "Development of an Embeddable Sensor to Monitor the Corrosion Process of New and Existing Reinforced Concrete Structures." *Construction and Building Materials* 23 (8): 2746–51.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.04.001>.
- Figueira, Rita B. 2017. "Electrochemical Sensors for Monitoring the Corrosion Conditions of Reinforced Concrete Structures: A Review." *Applied Sciences (Switzerland)* 7 (11).
<https://doi.org/10.3390/app7111157>.
- Martínez, I., and C. Andrade. 2009. "Examples of Reinforcement Corrosion Monitoring by Embedded Sensors in Concrete Structures." *Cement and Concrete Composites* 31 (8): 545–54.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.05.007>.
- Ramon Zamora, José Enrique. 2018. "Sistema de Sensores Embebidos Para Monitorizar La Corrosión En Estructuras de Hormigón Armado . Fundamentos , Metodología y Aplicaciones."
- Stern, M. 1957. "Closure to 'Discussion of "Electrochemical Polarization, 1. A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves" [M. Stern and A. L. Geary (Pp. 56–63, Vol. 104)].'" *Journal of The Electrochemical Society* 104 (12): 751.
<https://doi.org/10.1149/1.2428473>.
- Warkus, J., and M. Raupach. 2006. "Modelling of Reinforcement Corrosion - Corrosion with Extensive Cathodes." *Materials and Corrosion* 57 (12): 920–25.
<https://doi.org/10.1002/maco.200604032>.

MONITORIZACIÓN DE LA CORROSIÓN EN LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO. PARTE 2

CORROSION MONITORING ON REINFORCED CONCRETE SLABS. PART 2

Josep Ramon Lliso-Ferrando

Investigador en el Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM).
Universitat Politècnica de València. E-mail: jollife2@arq.upv.es
Researcher in the Institute for Molecular Recognition and Technological Development (IDM), Universitat Politècnica de València.
E-mail: jollife2@arq.upv.es

Erika Juliana Pacheco-García

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación (ETSIE). Universitat Politècnica de València. E-mail: erpacgar@edificacion.upv.es
School of Building Engineering (ETSIE), Universitat Politècnica de València. E-mail: erpacgar@edificacion.upv.es

Isabel Gasch Molina

Investigadora en el Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM).
Universitat Politècnica de València. E-mail: igasch@mes.upv.es
Researcher in the Institute for Molecular Recognition and Technological Development (IDM), Universitat Politècnica de València.
E-mail: igasch@mes.upv.es

Ana Martínez-Ibernón

Investigadora en el Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM).
Universitat Politècnica de València. E-mail: anmarib@arqt.upv.es
Researcher in the Institute for Molecular Recognition and Technological Development (IDM), Universitat Politècnica de València.
E-mail: anmarib@arqt.upv.es

José Manuel Gandía-Romero

Investigador en el Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM).
Universitat Politècnica de València. E-mail: joganro@csa.upv.es
Researcher in the Institute for Molecular Recognition and Technological Development (IDM), Universitat Politècnica de València.
E-mail: joganro@csa.upv.es

Manuel Valcuende Payá

Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. E-mail: mvalcuen@csa.upv.es
Department of Architectural Constructions, Universitat Politècnica de València. E-mail: mvalcuen@csa.upv.es

Juan Soto Camino

Investigador en el Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM).
Universitat Politècnica de València. E-mail: jsotoca@upv.es
Researcher in the Institute for Molecular Recognition and Technological Development (IDM), Universitat Politècnica de València.
E-mail: jsotoca@upv.es

Abstract

Using sensors for corrosion monitoring in reinforced concrete structures can be very useful. These systems can help to detect corrosion phenomena beforehand. In addition, sensors can be located in submerged or buried pieces (completely inaccessible during the service life of the structures). However, it should be noted that these sensor systems must consider both, microcell and macrocell corrosion currents, in order to be representative of the inner state of the nearest reinforcements.

This paper presents a corrosion monitoring process that was extended for more than 200 days. This study was carried out on two reinforced concrete slabs that were manufactured using an ordinary concrete. The results obtained showed that macrocell currents can increase the kinetic activity of rebars significantly. In this case, it was by 8 to 10 times. Secondly, the results obtained also proved the influence of the cathode-anode surface ratio as a regulator of the macrocell intensity processes.

Finally, the results demonstrated only considering both, microcell and macrocell process, real values of the inner state of the reinforcements can be obtained.

Keywords

Corrosion Monitoring, Durability, Reinforced Concrete Slabs

Introducción

La monitorización de la corrosión de las armaduras en hormigón armado mediante sensores embebidos se ha convertido en una herramienta de gran utilidad para la detección prematura de daños debido a este fenómeno (C. Andrade and Alonso 2001; Broomfield, Davies, and Hladky 2002; Gustavo S. Duffó and Farina 2009; G. S. Duffó, Farina, and Giordano 2009; Figueira 2017; Martínez and Andrade 2009; Pereira et al. 2009). Estos sistemas pueden facilitar la detección prematura del daño y ayudar a prever reparaciones sin recurrir a técnicas de inspección destructivas.

Sin embargo, tal y como se adelantó en la primera parte de este estudio, la utilización de sistemas de monitorización embebidos no es una herramienta del todo precisa debido a que los sensores no reproducen de una manera precisa del estado de las armaduras próximas a donde se ubican (Ramon Zamora 2018). Esto se debe a que los sensores están conformados por elementos aislados del conjunto de los refuerzos. Esta condición impide que los sensores participen de los procesos de macrocelda que se originan entre las distintas zonas del armado, tal y como se muestra en la Imagen 1.

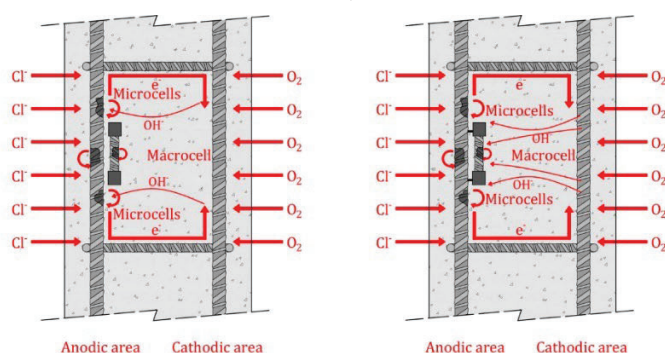


Imagen 1. Descripción gráfica de las corrientes de microcelda y macrocelda. Participación del sensor en los procesos de macrocelda.
Image 1. Graphical description of microcell and macrocell corrosion currents. Sensor involvement in macrocell processes.

Tal y como se describe en la Imagen 1, en el caso de utilizar sensores aislados de los refuerzos, la medida realizada sobre los mismos únicamente tiene en cuenta los procesos de microcelda que sufran. Sin embargo, las armaduras del entorno sufren tanto los procesos de microcelda como los procesos de macrocelda que se originan con otras regiones del armado (Andrade et al., 2008; Andrade, 2019; Qian et al., 2006). Únicamente considerando ambos procesos se puede obtener la corrosión real de los refuerzos (Ecuación 1).

$$i_{CORR} = i_{CORR,MICRO} + i_{CORR,MACRO} \quad (1)$$

En este estudio se retoma el análisis de las corrientes de microcelda y macrocelda que se desarrollan en una serie de losas de hormigón armado fabricadas con distintas armaduras embebidas. En la primera parte de este trabajo se presentaron las piezas de estudio y se presentó una primera fase de monitorización (Fase 1) mientras el conjunto de las armaduras se encontraba en estado pasivo. En esta segunda parte se presentarán las Fases 2 y 3 del seguimiento de la corrosión. En el nuevo escenario se analizó el comportamiento de las corrientes de microcelda y macrocelda una vez parte del armado se encontraba bajo condiciones de corrosión activa.

Plan Experimental

Materiales

En la primera parte de este trabajo se presentó el hormigón utilizado para la fabricación de las dos losas utilizadas en este estudio. En la Tabla 1 se recoge la dosificación empleada. Se trata de un hormigón convencional con una relación agua/cemento de 0,60. En paralelo a la fabricación de las losas utilizadas para llevar a cabo la monitorización de la corrosión se fabricaron una serie de probetas para la caracterización del material. El conjunto de probetas fabricadas y los ensayos llevados a cabo se pueden resumir en:

- ensayo de resistencia a compresión (f_{ck}) según norma UNE-EN 12390-3:2009 (AENOR 2009). Para este ensayo se utilizaron probetas cilíndricas ($\varnothing 100$ mm; altura 200 mm). Las edades de ensayo fueron a los 28 días, y a los 2 y 6 meses de edad;

Introduction

Corrosion monitoring on reinforced concrete structures using sensors has become a useful tool for the early detection of corrosion phenomena (C. Andrade and Alonso 2001; Broomfield, Davies, and Hladky 2002; Gustavo S. Duffó and Farina 2009; G. S. Duffó, Farina, and Giordano 2009; Figueira 2017; Martínez and Andrade 2009; Pereira et al. 2009). These systems can facilitate the early detection of damage and can help predict repairs without resorting to invasive techniques.

However, as discussed in the first part of this study, the use of embedded monitoring systems is not an entirely accurate tool because sensors do not accurately reproduce the inner condition of reinforcement in the vicinity of their location (Ramon Zamora 2018). This is because the sensors are made up of elements isolated from the reinforcement. This condition prevents the sensors from participating in the macrocell processes that originate between the different zones of the reinforcement, as shown in Image 1.

As depicted in Image 1, using sensors electrically isolated from the reinforcements, the corrosion measurement only considers the microcell processes or local corrosion. However, the surrounding reinforcement undergoes both microcell and macrocell corrosion currents that originate with other regions of the reinforcements (Andrade et al., 2008; Andrade, 2019; Qian et al., 2006). Only by considering both processes, it is possible to know the real situation of the rebars (Equation 1).

$$i_{CORR} = i_{CORR,MICRO} + i_{CORR,MACRO} \quad (1)$$

In this study, the analysis of the microcell and macrocell currents that develop in a series of reinforced concrete slabs is resumed. In the previous part of this study, the test pieces were presented, and the results of Phase 1 monitoring process were showed. During Phase 1, all reinforcements remained in passive conditions. For the second part of this study, phases 2 and 3 of the corrosion monitoring process are presented. In the new scenario, the behaviour of the microcell and macrocell currents was analysed once part of the reinforcements reached active corrosion conditions.

Experimental Plan

Materials

In the previous part of this study, the concrete was used for manufacturing the reinforced concrete slabs was presented. Table 1 summarizes the dosage was used. As can be seen, an ordinary concrete was manufactured (0.60 water/cement ratio). In parallel to the work pieces, a series of test specimens were prepared in order to perform the material characterization. The set of test specimens prepared, and tests carried out can be summarized as follows:

Tabla 1 Dosificaciones (kg/m³ de hormigón).
Table 1 Dosages (kg/m³ of concrete).

Cemento / Cement	Agua / Water	Grava / Gravel	Arena / Sand	Superplastificante / Superplasticizer
301.5	195	490.78	1438.15	1.85

-compressive strength test (f_{ck}) according to UNE-EN 12390-3:2009 (AENOR 2009). Cylindrical specimens ((Ø100 mm; 200 mm) were used. Test ages: 28 days, and 2 and 6 months.

-porosity accessible to water, according to UNE 83980:2014 (AENOR 2014) standard method. To carry out this test, 18 cylindrical specimens (Ø100 mm; height 50 mm) were prepared. The test ages were 28 days, and 2 and 6 months. For each test, 6 specimens were analysed;

-capillary absorption test according to UNE 83982 (AENOR 2008c) standard method. The conditioning method followed is described in UNE 83966 (AENOR 2008a). Cylindrical specimens (Ø100 mm; height 50 mm) were used to study this parameter. The ages at which test were carried out were 2 and 6 months;

-air permeability test (UNE 83981 83981) (AENOR 2008b). A permeameter model Controls 58-E0031 was used. Cylindrical test specimens (Ø150 mm; height 50 mm) were used. The tests were performed at 2 and 6 months age. Three specimens were tested for each age;

-ensayo de porosidad accesible al agua siguiendo las indicaciones de la norma de ensayo UNE 83980:2014 (AENOR 2014). Para llevar a cabo el ensayo se emplearon 18 probetas cilíndricas (\varnothing 100 mm; altura 50 mm). Las edades de ensayo fueron a los 28 días, y a los 2 y 6 meses de edad. Para cada edad de ensayo se emplearon 6 probetas diferentes en cada caso;

-ensayo de absorción por capilaridad de acuerdo a la norma UNE 83982 (AENOR 2008c) y siguiendo las recomendaciones de acondicionamiento indicadas en la norma UNE 83966 (AENOR 2008a). Para el estudio de este parámetro se utilizaron probetas cilíndricas (\varnothing 100 mm; altura 50 mm). Las edades a las que se realizaron los ensayos fueron a los 2 y 6 meses de edad;

-ensayo de permeabilidad al gas. La norma que recoge este ensayo es la UNE 83981 (AENOR 2008b). Para llevar a cabo el ensayo se utilizó un permeámetro modelo Controls 58-E0031, que cuenta con una celda de ensayo para probetas cilíndricas (\varnothing 150 mm; altura 50 mm). Las edades a las que se realizaron los ensayos fueron a los 2 y 6 meses de edad. Se analizaron 3 probetas por cada ciclo de ensayos;

-ensayo de migración de cloruros siguiendo las indicaciones de la norma de ensayo NTBuild 492 (NORDTEST; Nordic Cooperation. 1999). Para el estudio de este parámetro se utilizaron probetas cilíndricas (\varnothing 100 mm; altura 50 mm). Las edades a las que se realizaron los ensayos fueron a los 2 y 6 meses.

En el siguiente apartado se recogen los resultados obtenidos para cada ensayo y edad a la que se llevó a cabo.

Seguimiento y monitorización de la corrosión

Respecto la monitorización de la corrosión, debe recordarse la configuración de las losas fabricadas (Imagen 2). Como se puede ver, se trata de dos piezas de 85x30x9 cm, con dos sensores embebidos en la parte central de la pieza, y una serie de armaduras de montaje organizadas por niveles según su proximidad a la zona central. En la primera parte de este trabajo se presentó la monitorización en una primera etapa (Fase 1), periodo en el que todos los sensores permanecieron en estado pasivo. Como se pudo ver, en este escenario las corrientes de macrocelda apenas fueron notables, por lo que los niveles de corrosión observados se mantuvieron por debajo de los $0,2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Para llevar a cabo la segunda y tercera fase de estudio, se instaló un depósito en la parte central de la pieza, tal y como se describe en las fotografías y esquemas presentados en la Imagen 2. Este depósito se fabricó con un segmento de tubería de PVC (\varnothing 16 cm; altura 50 cm) unido a la losa con un sellante comercial. Este depósito fue rellenado con una disolución de agua con cloruros ($0,5\text{M NaCl}$).

Durante más de 100 días, la corrosión de los dos sensores embebidos en cada losa fue monitorizada. Esta segunda etapa de seguimiento de la corrosión se extendió hasta la detección de niveles de corrosión por encima de los $0,2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ en los sensores con recubrimiento de 5 y 2,5 cm. Finalizada esta segunda etapa se llevó a cabo la tercera fase de seguimiento de la corrosión. Para ello, los sensores de cada losa fueron divididos en dos grupos. Por cada losa 1 sensor fue conectado a las armaduras de montaje para propiciar la aparición de los procesos de macrocelda. Durante una semana cada sensor fue conectado a distintos niveles de armados, generando distintas relaciones cátodo-ánodo, tal y como se muestra en la Tabla 2. Durante esta etapa tanto las corrientes de macrocelda como de microcelda fueron consideradas para el cálculo de la intensidad de corrosión total de los sensores. El proceso de seguimiento de la corrosión fue descrito en la primera parte de este trabajo. Respecto al segundo grupo de sensores de cada losa, estos permanecieron aislados de los procesos de macrocelda durante la tercera fase, viendo su actividad cinética alterada únicamente por los procesos de macrocelda.

Resultados

Caracterización del material

En la Tabla 3 se recogen los resultados de los distintos ensayos enunciados anteriormente. Para cada ensayo se han indicado también los umbrales establecidos por Baroghel-Bouny (Wang et al. 2014) para considerar que la durabilidad de un material es baja o muy baja.

-chloride migration test according to NTBuild 492 (NORDTEST; Nordic Cooperation. 1999). standard method. Cylindrical specimens ($\varnothing 100$ mm; height 50 mm) were used. The test was carried out at 2- and 6-months age.

The results' section summarizes the values obtained for each test and age at was carried out.

Corrosion monitoring

Regarding corrosion monitoring process, the configuration of each slab should be depicted (Image 2). As can be seen, the two pieces (85x30x9 cm) included two sensors in the central area, and several auxiliary rebars arranged by levels, according to the proximity to the sensors' area. In the first part of the study (Phase 1) the monitoring process was performed while rebars remained in passive conditions. As was showed, in this scenario the macrocell currents were hardly noticeable, so the observed corrosion levels remained below $0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. To carry out a second and third phase, two tanks were installed in each slab, as it is described in Image 2. The tanks were made up using a segment of PVC pipe ($\varnothing 16$ cm; height 50 cm) joined to the slab using a commercial sealant. This tank was filled with a water chloride solution (0.5M NaCl).

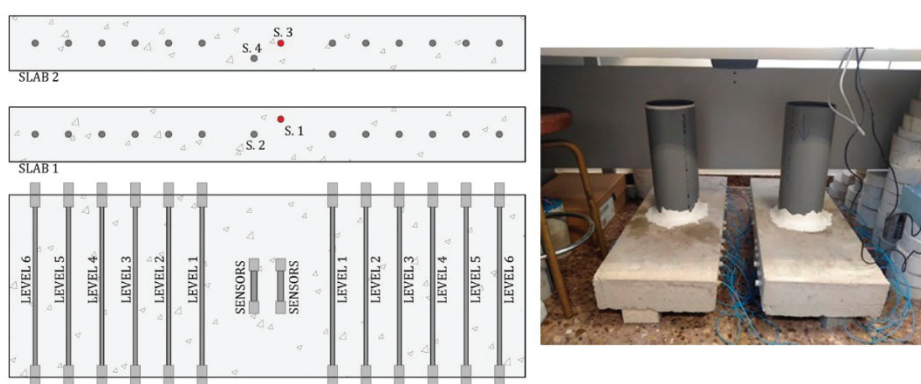


Imagen 2. Montaje del depósito sobre la losa de hormigón armado.

Image 2. Ponding on reinforced concrete slabs.

For more than 100 days, a corrosion monitoring process was performed on each sensor. This second phase was extended until corrosion levels above $0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ were detected on sensors having 2.5 and 5 cm concrete cover. Once the second phase ended, a third phase was carried out. For this purpose, the sensors of each slab were divided into two groups. For each slab, one sensor was connected to the different levels of auxiliary rebars, generating the cathode-anode surface ratios depicted in Table 2. During the third phase, both macrocell and microcell current were considered for the total corrosion analysis. The corrosion monitoring process was described in the first part of this study. Regarding the second group of sensors, they remained electrically isolated from auxiliary rebars, so only local or microcell corrosion processes were considered.

Results

Material characterization

Table 3 shows the results obtained in each characterization test depicted above. For each test, the thresholds established by Baroghel-Bouny (Wang et al. 2014) to considered very low durability concrete were also indicated.

As can be seen in Table 3, the results obtained showed the quality of the concrete was used: very low durability. This is due to the water/cement ratio (0.60) and the quality of cement used (CEM II/B-L 32.5N). This material is not suitable for structures will be located in marine environments or where there may be a certain presence of chlorides. However, for this study, it was decided to use this concrete in order to obtain realistic results in a short period of time.

Tabla 2 Relaciones de superficies cátodo/ánodo.

Table 2 Cathode/anode surface ratios.

Nomenclatura / Name	Niveles conectados / Levels	Relación cátodo/ánodo / Cathode/anode surface ratio
LEVEL 0	0	0
LEVEL 1	1	11.20
LEVEL 2	1+2	22.40
LEVEL 3	1+2+3	33.60
LEVEL 4	1+2+3+4	44.79
LEVEL 5	1+2+3+4+5	55.99
LEVEL 6	1+2+3+4+5+6	67.19

Tabla 3 Caracterización del material.

Table 3 Material characterization.

Ensayo / Test method	28 días / 28 days	2 meses / 2 months	6 meses / 6 months	Clasificación / Classification
f_{ck}	29.35 MPa	32.25 MPa	33.46 MPa	-
Porosidad / Porosity	17.6%	18.1%	18.3%	>16% (Very low)
Capilaridad / Capillarity	-	72 (K)	66 (K)	-
Permeabilidad / Permeability	-	2.21E-16 m ²	2.29E-16 m ²	-
Migración / Migration	-	6.35E-11 m ² /s	5.12E-11 m ² /s	>5E-11 m ² /s (Very low)

Los resultados obtenidos indicaron claramente la calidad del hormigón utilizado: muy baja. Esto se debe a la relación agua/cemento empleada (0,6) y la calidad del cemento (CEM II/B-L 32,5N). Este material no es el adecuado para construcciones situadas en ambientes marinos o donde pueda existir una cierta presencia de cloruros. Sin embargo, para este estudio se decidió emplear este hormigón para obtener resultados realistas en un corto periodo de tiempo.

Monitorización de la corrosión - Fase 2

En las Imágenes 3 y 4 se recogen los resultados obtenidos durante la Fase 2 tanto del seguimiento del potencial de corrosión (E_{CORR}) como de la intensidad de corrosión (i_{CORR}). En ambas gráficas se puede apreciar como el sensor con menor recubrimiento (S.1) mostró una variación en estado inicial de pasividad a partir de los 60 días. Esto se debe a la relativa facilidad con la que este sensor fue alcanzado por los cloruros. Tal y como demostraron los resultados presentados en la Tabla 3, la resistencia del hormigón fabricado a la penetración de los cloruros era muy baja. Los sensores con un recubrimiento de 5 cm (S.2 y S.3) sufrieron cambios en su estado electroquímico a partir de los 120 días, fruto de un mayor recubrimiento. La segunda fase de monitorización finalizó a los 140 días, con 3 sensores en estado activo de corrosión, y un sensor (S.4, con mayor recubrimiento, 7,5 cm) todavía en estado pasivo.

Monitorización de la Corrosion – Fase 3

En las Imágenes 5 y 6 se recogen los resultados obtenidos durante la Fase 3 tanto del seguimiento de la intensidad de corrosión de macrocelda ($i_{CORR,MACRO}$) (resumen semanal según los niveles conectados) como de la intensidad de corrosión total (i_{CORR}).

La evolución de la intensidad de corrosión por macrocelda en los dos sensores que permanecieron conectados al armado de montaje permitió apreciar la influencia de la relación cátodo-ánodo en la magnitud de este fenómeno. Las corrientes más altas se obtuvieron para los tramos en los que más niveles se mantuvieron conectados.

Corrosion Monitoring – Phase 2

Images 3 and 4 show the results obtained during Phase 2 for both, corrosion potential (E_{CORR}) and total corrosion (i_{CORR}). In both graphs, it can be seen the sensor having 2.5 cm concrete cover showed a variation in the initial passivity condition after 60 days. This is due to the relative ease the sensor was reached by chlorides. As showed in Table 3, the resistance of concrete to chloride diffusion was very low. Sensor having 5 cm concrete cover underwent changes in their electrochemical condition after 120 days. The Phase 2 ended at 140 days, when 3 sensors reached active corrosion condition and one sensor (7.5 cm concrete cover) remained in passive conditions.

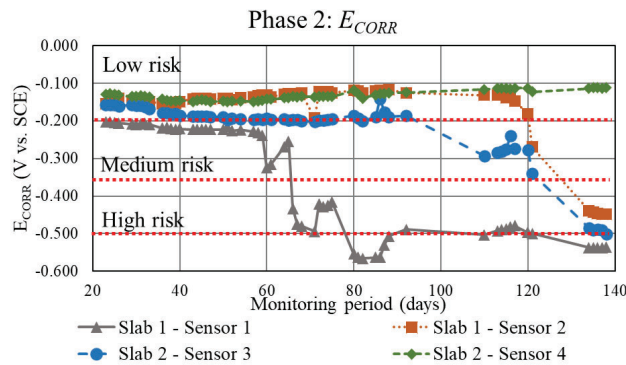


Imagen 3. Evolución del potencial de corrosión (E_{CORR}).

Image 3. Corrosion potential evolution (E_{CORR})

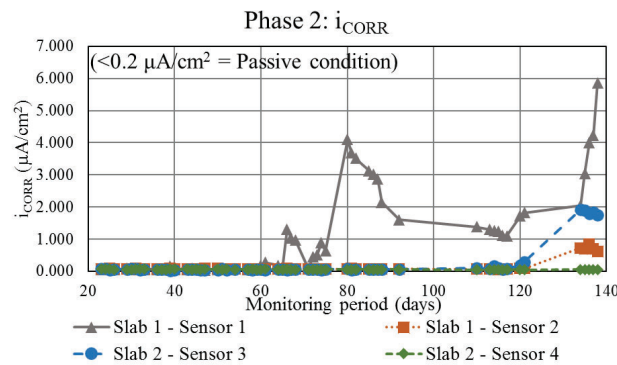


Imagen 4. Evolución de la intensidad de corrosión (i_{CORR}).

Image 4. Corrosion current evolution (i_{CORR})

Corrosion Monitoring – Phase 3

Images 5 and 6 show the results obtained during Phase 3 for both, macrocell corrosion currents ($i_{CORR,MACRO}$) (average for each week) and total corrosion (i_{CORR}).

The macrocell corrosion variation during the monitoring period made it possible to appreciate the influence of the cathode-anode surface ratio. The highest levels were obtained when more levels were connected.

Regarding the total corrosion, different trends could be appreciated depending on the sensor condition. Sensor 4 remained in passive conditions throughout the whole study (more than 200 days). On the other hand, sensor 2, with no participation in macrocell processes but in active corrosion condition, it maintained levels below $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. On the other hand, the sensors that took part in macrocell processes showed a clearly increasing trend, reaching values even above $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, which denotes a significant corrosion rate.

Global vision for the whole study

Image 7 show the results obtained during the three phases the corrosion monitoring tasks were extended (more than 200 days).

Respecto a la evolución de la intensidad de corrosión total, se pudieron apreciar diferentes tendencias en función de las condiciones del sensor. El sensor 4, con un recubrimiento de 7,5 cm mantuvo durante todo el estudio su estado inicial de pasividad (más de 200 días). Por otro lado, el sensor 2, sin participación de los procesos de macrocelda, pero en estado activo de corrosión mantuvo unos niveles por debajo de $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ durante todo el estudio. Por otro lado, los sensores con participación de los procesos de macrocelda mostraron una tendencia claramente ascendente, alcanzando valores incluso por encima de $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, lo que denota una corrosión importante del refuerzo.

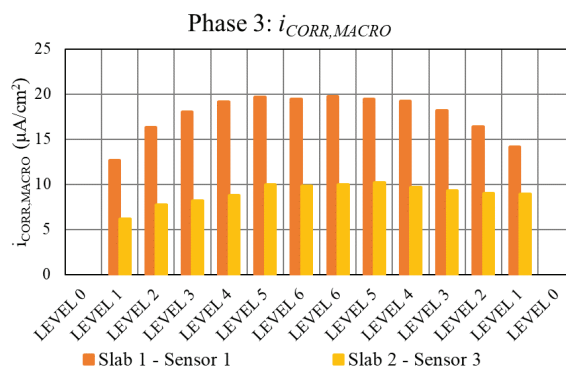


Imagen 5. Evolución de la intensidad de corrosión de macrocelda ($i_{CORR,MACRO}$).
evolution ($i_{CORR,MACRO}$)

Image 5. Macrocell corrosion current

Visión global de las distintas fases de estudio

En las Imagen 7 se recogen los resultados obtenidos durante las tres fases de monitorización de la corrosión para cada sensor (más de 200 días de monitorización).

Los resultados presentados en la Imagen 8 muestran la escasa influencia de los procesos de macrocelda mientras las armaduras mantienen su estado inicial de pasividad (Fase 1). Sin embargo, esta tendencia varía drásticamente cuando parte del armado se encuentra en estado activo de corrosión (Fase 3). En este estudio se pudo apreciar la diferencia entre sensores con y sin participación de los procesos de macrocelda. Aquellos que sí que participaron de los procesos de macrocelda llegaron a alcanzar valores 10 veces superiores a aquellos sensores que permanecieron aislados de estos procesos. Estos datos revelan la importancia de tener en cuenta estos procesos por parte de los sistemas embebidos de monitorización de la corrosión.

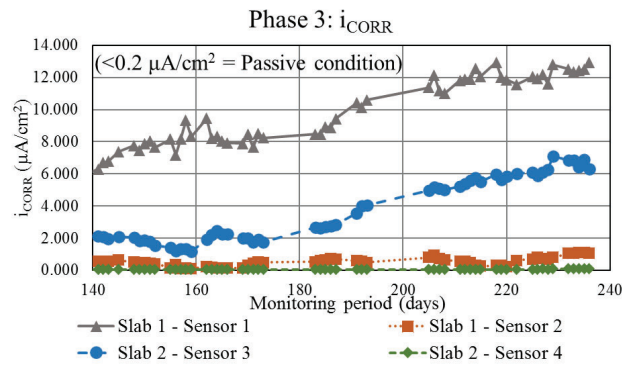
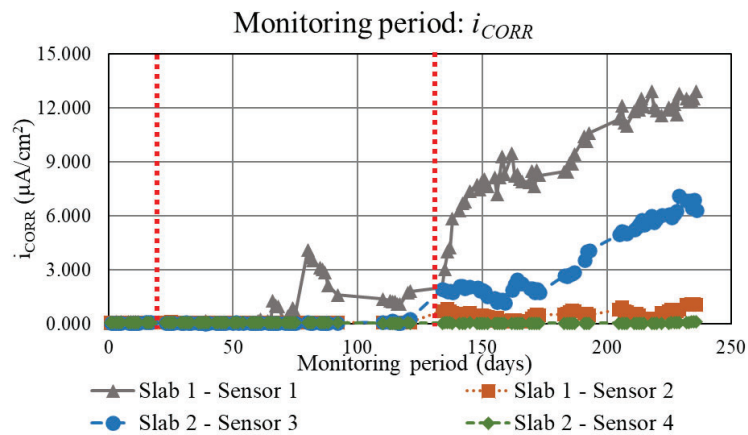
Conclusiones

En este estudio se ha presentado un trabajo de seguimiento y monitorización de la corrosión de sensores con y sin participación de los procesos de macrocelda, embebidos en losas de hormigón armado. Los resultados obtenidos arrojaron una serie de conclusiones que se pueden sintetizar según:

- las corrientes de macrocelda apenas tienen repercusión en las armaduras si estas permanecen en estado pasivo;

- una vez parte del armado se encuentra en estado activo de corrosión, las corrientes de macrocelda pueden propiciar un aumento significativo de la actividad cinética propia de una armadura. En este estudio este aumento se pudo cuantificar, alcanzando a ser entre 8 y 10 veces superior en aquellos sensores que participaron de los procesos de macrocelda frente a aquellos que se mantuvieron aislados durante todo el periodo de estudio;

- el diseño de sistemas embebidos para la monitorización de la corrosión debe tener en cuenta los procesos de macrocelda. La utilización de sensores conectados a las armaduras y aislados puntualmente para llevar a cabo la medida de la corrosión son una solución adecuada siempre que previamente se analice también la intensidad de corriente de macrocelda.

Imagen 6. Evolución de la intensidad de corrosión (i_{CORR}).Image 6. Corrosion current evolution (i_{CORR})Imagen 7. Evolución de la intensidad de corrosión (i_{CORR}).Image 7. Corrosion current evolution (i_{CORR})

The results presented in Image 8 showed macrocell processes had a little influence while the reinforcements remained in its initial passive condition (Phase 1). However, this trend changed drastically when part of the reinforcements reached active corrosion condition (phase 3). In this study, the difference between which took part in macrocell processes or do not could be seen. Those that did participate reached values 10 times higher than those that remained isolated from these processes. These data reveal the importance of taking these phenomena into account when embedded corrosion monitoring systems are used.

Conclusions

This study presented the corrosion monitoring work on 4 sensors embedded in reinforced concrete slabs. Some sensors participated in macrocell processes. The results obtained yielded a number of conclusions that can be summarized as follows:

- macrocell currents have hardly any impact on the reinforcement condition while it remains under passive conditions;

- once some rebars reach active corrosion conditions, macrocell currents can lead to a significant increase in the kinetic activity of the reinforcements. In this case, it was by 8 to 10 times, compared to the values obtained in sensors which did not take part in macrocell processes;

- corrosion monitoring systems should consider macrocell processes. Using sensors connected to the reinforcement but electrically isolated during the corrosion measurements is a suitable solution only if macrocell corrosion currents are also analysed previously.

AGRADECIMIENTOS/ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Spanish Government for the Grant PID2020-119744RB-C21 funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033. Furthermore, they thank the support of the Universitat Politècnica de València. The predoctoral scholarship granted to Josep Ramon Lliso Ferrando as part of the “Formación de Personal Investigador” programme from the Universitat Politècnica de València (FPI-UPV-2018) and the Grant FPU 16/00723 funded by MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 and by “ESF Investing in your future”.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- AENOR. 2008a. “UNE-EN 83966. Acondicionamiento de Probetas de Hormigón Para Los Ensayos de Permeabilidad a Gases y Capilaridad.”
- 2008b. “UNE-EN 83981. Determinación de La Permeabilidad Al Oxígeno Del Hormigón Endurecido.”
- 2008c. “UNE-EN 83982. Determinación de La Absorción de Agua Por Capilaridad Del Hormigón Endurecido. Método Fagerlund.”
- 2009. “UNE-EN 12390-3. Ensayos de Hormigón Endurecido. Parte 3: Determinación de La Resistencia a Compresión de Probetas” UNE-EN.
- 2014. “UNE-EN 83980. Determinación de La Absorción de Agua, La Densidad y La Porosidad Accesible Al Agua Del Hormigón.”
- Andrade, C., and C. Alonso. 2001. “On-Site Measurements of Corrosion Rate of Reinforcements.” *Construction and Building Materials* 15 (2–3): 141–45. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(00\)00063-5](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(00)00063-5).
- Andrade, C., P. Garcés, and I. Martínez. 2008. “Galvanic Currents and Corrosion Rates of Reinforcements Measured in Cells Simulating Different Pitting Areas Caused by Chloride Attack in Sodium Hydroxide.” *Corrosion Science* 50 (10): 2959–64. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.07.013>.
- Andrade, Carmen. 2019. “Propagation of Reinforcement Corrosion : Principles , Testing and Modelling.” *Materials and Structures* 52 (1): 1–26. <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1301-1>.
- Broomfield, John P., Kevin Davies, and Karel Hladky. 2002. “The Use of Permanent Corrosion Monitoring in New and Existing Reinforced Concrete Structures.” *Cement and Concrete Composites* 24 (1): 27–34. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00024-5](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00024-5).
- Duffó, G. S., S. B. Farina, and C. M. Giordano. 2009. “Characterization of Solid Embeddable Reference Electrodes for Corrosion Monitoring in Reinforced Concrete Structures.” *Electrochimica Acta* 54 (3): 1010–20. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2008.08.025>.
- Figueira, Rita B. 2017. “Electrochemical Sensors for Monitoring the Corrosion Conditions of Reinforced Concrete Structures: A Review.” *Applied Sciences (Switzerland)* 7 (11). <https://doi.org/10.3390/app7111157>.
- Martínez, I., and C. Andrade. 2009. “Examples of Reinforcement Corrosion Monitoring by Embedded Sensors in Concrete Structures.” *Cement and Concrete Composites* 31 (8): 545–54. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.05.007>.
- NORDTEST; Nordic Cooperation. 1999. “NT Build 492. Rapid Chloride Migration Test (RCMT).” *Nordtest Method*, 1–8.
- Pereira, Elsa Vaz, Rita Bacelar Figueira, Maria Manuela Lemos Salta, and Inês Teodora Elias da Fonseca. 2009. “A Galvanic Sensor for Monitoring the Corrosion Condition of the Concrete Reinforcing Steel: Relationship between the Galvanic and the Corrosion Currents.” *Sensors* 9 (11): 8391–98. <https://doi.org/10.3390/s91108391>.
- Qian, Shiyuan, Jieying Zhang, and Deyu Qu. 2006. “Theoretical and Experimental Study of Microcell and Macrocell Corrosion in Patch Repairs of Concrete Structures.” *Cement and Concrete Composites* 28: 685–95. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.05.010>.
- Ramon Zamora, José Enrique. 2018. “Sistema de Sensores Embebidos Para Monitorizar La Corrosión En Estructuras de Hormigón Armado . Fundamentos , Metodología y Aplicaciones.”
- Wang, Wei, Jian Liu, Franck Agostini, Catherine A. Davy, Frédéric Skoczylas, and Dominique Corvez. 2014. “Durability of an Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC) under Progressive Aging.” *Cement and Concrete Research* 55: 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.09.008>.

GESTIÓN EFICIENTE DEL USO PÚBLICO DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO MEDIANTE UN PROTOCOLO HBIM

EFFICIENT MANAGEMENT OF THE PUBLIC USE OF ARCHITECTURAL HERITAGE THROUGH AN HBIM PROTOCOL

Elena Salvador-García

*Gestora Cultural; Fundación de la CV Conjunto San Juan del Hospital de Valencia; Calle Trinquete de los Caballeros 5, 46003 Valencia, España. Doctora Arquitecta. E-mail: salvadorgarcia.elena@gmail.com
Cultural Manager; Fundación de la CV Conjunto San Juan del Hospital de Valencia; Calle Trinquete de los Caballeros 5, 46003 Valencia, Spain. PhD Architecture by the UPV. E-mail: salvadorgarcia.elena@gmail.com*

M^a José Viñals-Blasco

*Investigadora en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrita al Departamento de Ingeniería Cartográfica Geodesia y Fotogrametría; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Catedrática de Universidad. E-mail: mvinals@upv.es
Researcher in PEGASUS Research Center for Architecture, Heritage and Sustainable Management and assigned the Department of Cartographic Engineering, Geodesy and Photogrammetry; Universitat Politècnica de València, Full Professor, PhD Architecture by the UPV. E-mail: mvinals@upv.es*

Jorge Luis García-Valdecabres

*Investigador en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrito al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Titular de Universidad. Doctor Arquitecto. E-mail: jgvalde@ega.upv.es
Researcher in PEGASUS Research Center for Architecture, Heritage and Sustainable Management and assigned Department of Architectural Graphic Expression; Universitat Politècnica de València, Senior Lecturer, PhD Architecture by the UPV. E-mail: jgvalde@ega.upv.es*

Concepción López-González

*Investigadora en PEGASO Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión Sostenible y adscrita al Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica; Universitat Politècnica de València; Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Catedrática de Escuela Universitaria, Doctora Arquitecta. E-mail: mlopezg@ega.upv.es
Researcher in PEGASUS Research Center for Architecture, Heritage and Sustainable Management and assigned the Department of Architectural Graphic Expression; Universitat Politècnica de València, Senior Lecturer, PhD Architecture by the UPV. E-mail: mlopezg@ega.upv.es*

Abstract

The greatest challenge in managing public use of heritage is to establish a sustainable relationship between heritage and tourism. Recent studies have shown that the information generated by the multidisciplinary teams involved in the management of public use is generally incomplete, uncoordinated and outdated. Heritage Building Information Modelling (HBIM) is a collaborative work system where the agents involved share geometric, semantic and documentary information about the heritage asset in a coordinated way. HBIM is therefore presented as an opportunity to improve the efficiency of the management of public use of heritage. Considering the foreseeable growth in the use of HBIM in Spain in the near future, the aim of this research has been to develop a protocol that helps to implement HBIM for the management of the public use of architectural heritage. The innovative research method of Design Sciences (DSR) has been used to develop this research. The evaluation of the protocol by the panel of experts assessed its applicability and usefulness positively. This HBIM protocol is a starting point for the R&D project called "Analysis and development of HBIM integration in GIS for the creation of a tourism planning protocol for the cultural heritage of a destination" (PID2020-119088RB-I00) of the Spanish Ministry of Science and Innovation.

Keywords

HBIM Protocol, Heritage Building Information Modelling, Design Science Research, Public use of heritage.

Introducción

Algunas de las cartas internacionales más recientes afirman que el uso público contribuye al mantenimiento del patrimonio, refuerza los vínculos entre la sociedad y el monumento, y promueve el interés social por su conservación (ICOMOS, 1999). Por este motivo, la mayoría de los edificios patrimoniales suelen estar equipados, como mínimo, para la visita pública.

El turismo cultural, si bien promueve el interés social por la conservación del patrimonio, también puede representar un riesgo para la protección de los recursos patrimoniales si no se dispone de herramientas de gestión adecuadas. Por este motivo, desde los años '90 del siglo XX, se están desarrollando nuevas herramientas para mejorar la gestión sostenible del binomio patrimonio-turismo desde cuatro aspectos: a) la conservación preventiva, b) la gestión de visitantes, c) la interpretación del patrimonio, y d) la divulgación del patrimonio (Viñals et al., 2017).

Los proyectos patrimoniales se llevan a cabo por equipos multidisciplinares que desarrollan e interpretan una variada información del edificio histórico. La comprensión de esta información por los distintos agentes involucrados resulta fundamental para entender el valor y significado del bien patrimonial y tomar las decisiones más acertadas para las acciones de intervención, mantenimiento y gestión del mismo (British Standards Institution, 2013).

Sin embargo, tal como señala Historic England (2017) y Arayaci et al. (2017), la información de los bienes patrimoniales se encuentra generalmente dispersa, incompleta, descoordinada y desactualizada.

En relación con el uso público, la dispersión de la información entre los diferentes agentes involucrados puede plantear problemas en la transmisión del significado patrimonial del bien a los visitantes y, de este modo, el interés social por su conservación puede verse mermado. Además, una gestión inadecuada de los visitantes puede aumentar los riesgos de pérdida o degradación de los recursos patrimoniales.

Con el fin de dar una solución a esta problemática, diversas organizaciones e investigadores (Maxwell, 2016; Dore y Murphy, 2017) proponen el uso de BIM (Building Information Modelling) para gestionar de manera más eficiente los bienes patrimoniales, denominado con el término de Heritage o Historic Building Information Modelling (HBIM en adelante).

En la revisión de la literatura científica existen evidencias de que HBIM puede ayudar a documentar el edificio existente (García-Valdecabres et al., 2018), registrar y monitorizar la evolución de las patologías (Bruno et al., 2018), gestionar las tareas de mantenimiento (Fassi et al., 2016) y mejorar la divulgación cultural (Brumana et al., 2013). Sin embargo, no se han encontrado estudios sobre las capacidades de HBIM para la gestión de visitantes y tampoco se han desarrollado protocolos HBIM específicos para la gestión del uso público desde un enfoque holístico e interdisciplinar que englobe los cuatro aspectos antes mencionados.

Introduction

Some of the most recent international charters state that public use contributes to the maintenance of heritage, strengthens the links between society and the monument, and promotes social interest in its conservation (ICOMOS, 1999). For this reason, most heritage buildings are usually equipped, at a minimum, for public visitation.

Cultural tourism, while promoting social interest in heritage conservation, can also represent a risk to the protection of heritage resources if adequate management tools are not in place. For this reason, since the 1990s, new tools have been developed to improve the sustainable management of the heritage-tourism binomial from four aspects: a) preventive conservation, b) visitor management, c) heritage interpretation, and d) heritage dissemination.

Heritage projects are carried out by multidisciplinary teams that develop and interpret a variety of information about the historic building. The understanding of this information by the different agents involved is essential to understand the value and significance of the heritage asset

and to make the most appropriate decisions for intervention, maintenance and management actions (British Standards Institution, 2013).

However, as Historic England (2017) and Arayaci et al. (2017) point out, information on heritage assets is generally scattered, incomplete, uncoordinated and outdated.

In relation to public use, the dispersion of information among the different agents involved can pose problems in the transmission of the heritage significance of the property to visitors and, thus, social interest in its conservation can be undermined. Furthermore, inadequate visitor management can increase the risks of loss or degradation of heritage resources.

In order to provide a solution to this problem, various organisations and researchers (Maxwell, 2016; Dore and Murphy, 2017) propose the use of BIM (Building Information Modelling) to manage heritage assets more efficiently, known as Heritage or Historic Building Information Modelling (HBIM).

In the review of scientific literature there is evidence that HBIM can help to document the existing building (García-Valdecabres et al., 2018), record and monitor the evolution of pathologies (Bruno et al., 2018), manage maintenance tasks (Fassi et al., 2016) and improve cultural outreach (Brumana et al., 2013). However, no studies have been found on the capabilities of HBIM for visitor management and no specific HBIM protocols have been developed for the management of public use from a holistic and interdisciplinary approach encompassing the four aspects mentioned above.

Objetivos y metodología

Ante la previsión de que HBIM pueda llegar a exigirse en España en un futuro a corto plazo para gestionar el patrimonio arquitectónico, el objetivo principal de este estudio ha sido desarrollar un protocolo que ayude a implementar HBIM para la gestión del uso público. Los resultados que se presentan son fruto del desarrollo de una investigación llevada a cabo en el marco de varios proyectos desarrollados por el equipo redactor y de la tesis doctoral de Salvador-García (2020).

El método de investigación empleado para este estudio ha sido la Investigación de las Ciencias del Diseño (DSR). Este método de investigación se ha considerado el más apropiado ya que el objetivo principal ha sido diseñar un artefacto para solucionar un problema y ese artefacto, por ser un documento prescriptivo, debía implementarse y evaluarse por los usuarios que lo van a utilizar.

Por este motivo, el diseño de la investigación se ha realizado siguiendo las cinco etapas para las Ciencias del Diseño sugeridas por Vaishnavi et al. (2004), Holmström et al. (2009) y Chaves et al. (2016): 1. Identificar el problema, 2. Entender el problema, 3. Desarrollar una solución, 4. Implementar la solución y 5. Evaluar la solución (Imagen 1).

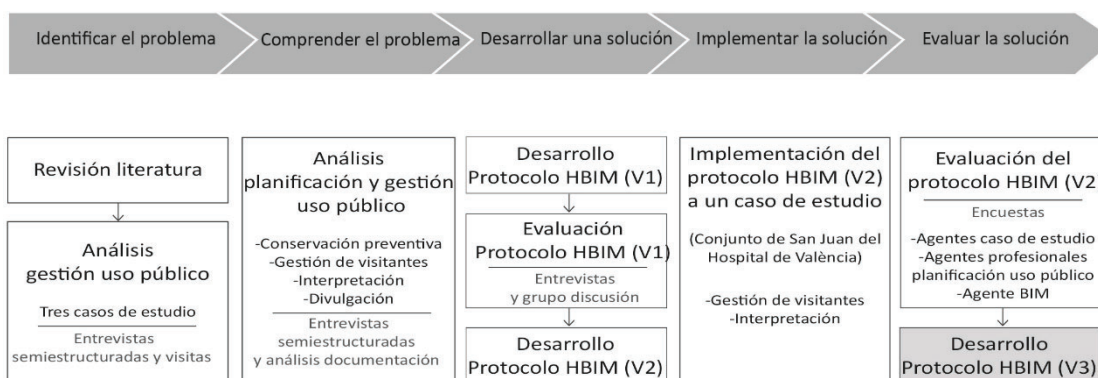


Imagen 1. Etapas llevadas a cabo en el diseño de la investigación, (Salvador-García, 2020). Image 1. Stages carried out in the research design, (Salvador-García, 2020).

En la primera fase, se llevó a cabo la revisión de la literatura científica en materia de HBIM y uso público; además, se analizó la gestión del uso público de tres casos de estudio: el Monasterio de

las Descalzas Reales de Madrid, el Museo Cerralbo de Madrid y el Conjunto de San Juan del Hospital de Valencia.

En la segunda fase, se analizó el sector profesional de la planificación y gestión del uso público. Para ello, se estudió la documentación técnica específica de los cuatro ámbitos del uso público: a) programas de conservación preventiva, b) planes de gestión de las visitas, c) programas de interpretación, y d) materiales divulgativos. Esto se llevó a cabo mediante entrevistas semiestructuradas a los profesionales que elaboran estos estudios.

En la tercera fase se desarrolló la primera versión del Protocolo que fue evaluada mediante la técnica de la entrevista y el grupo de discusión por un panel de expertos BIM. Los resultados de esta evaluación permitieron refinar el protocolo y desarrollar la segunda versión.

En la cuarta fase, se implementó la versión 2 del Protocolo al caso de estudio del Conjunto de San Juan del Hospital de Valencia. La implementación HBIM se centró en la gestión de visitantes y parcialmente en la interpretación del patrimonio.

En la quinta fase, se evaluó la versión 2 mediante la técnica de la encuesta por un panel de expertos. Las sugerencias de mejora de los evaluadores se incorporaron en la versión definitiva del protocolo.

Objectives and methodology

Given that HBIM is expected to be required in Spain in the near future for the management of architectural heritage, the main objective of this study was to develop a protocol to help implement HBIM for the management of public use. The results presented here are the result of research carried out within the framework of several projects developed by the writing team and the doctoral thesis of Salvador-García (2020).

The research method used for this study was Design Science Research (DSR). This research method has been considered the most appropriate since the main objective has been to design an artefact to solve a problem and that artefact, being a prescriptive document, had to be implemented and evaluated by the users who are going to use it.

For this reason, the research design has been carried out following the five stages for Design Science suggested by Vaishnavi et al. (2004), Holmström et al. (2009) and Chaves et al. (2016): 1. Identify the problem, 2. Understand the problem, 3. Develop a solution, 4. Implement the solution, and 5. Evaluate the solution (Image 1).

In the first phase, a review of the scientific literature on HBIM and public use was carried out and the management of public use was analysed in three case studies: the Descalzas Reales Monastery in Madrid, the Cerralbo Museum in Madrid and the San Juan del Hospital complex in Valencia.

In the second phase, the professional sector of planning and management of public use was analysed. To this end, the specific technical documentation for the four areas of public use was studied: a) preventive conservation programmes, b) visitor management plans, c) interpretation programmes, and d) informative materials. This was carried out by means of semi-structured interviews with the professionals who prepare these studies.

In the third phase, the first version of the Protocol was developed and evaluated using the interview and focus group technique by a panel of BIM experts. The results of this evaluation allowed the protocol to be refined and the second version to be developed.

In the fourth phase, version 2 of the Protocol was implemented in the case study of the San Juan complex of Valencia Hospital. The HBIM implementation focused on visitor management and partially on heritage interpretation.

In the fifth phase, version 2 was evaluated using the survey technique by a panel of experts. Suggestions for improvement from the evaluators were incorporated into the final version of the protocol.

Resultados

Este artículo muestra los resultados de la última etapa de la investigación que consiste en el desarrollo del Protocolo HBIM para la gestión de visitantes del patrimonio arquitectónico. Este Protocolo se estructura en dos partes: una primera parte de contextualización HBIM y una segunda parte que es el documento del Protocolo en sí mismo.

El apartado que contextualiza el sistema de trabajo HBIM se compone del diagrama cíclico HBIM, la descripción del Entorno Común de Datos como propuesta para trabajar en un entorno colaborativo, los distintos estados del modelo HBIM a lo largo del ciclo de vida del bien patrimonial y el proceso de contratación de un proyecto HBIM.

El diagrama cíclico HBIM contiene las principales fases de un proyecto patrimonial: Estrategia, Diseño, Intervención, Entrega y Uso público y detalla por primera vez los cuatro ámbitos del uso público (Imagen 2).

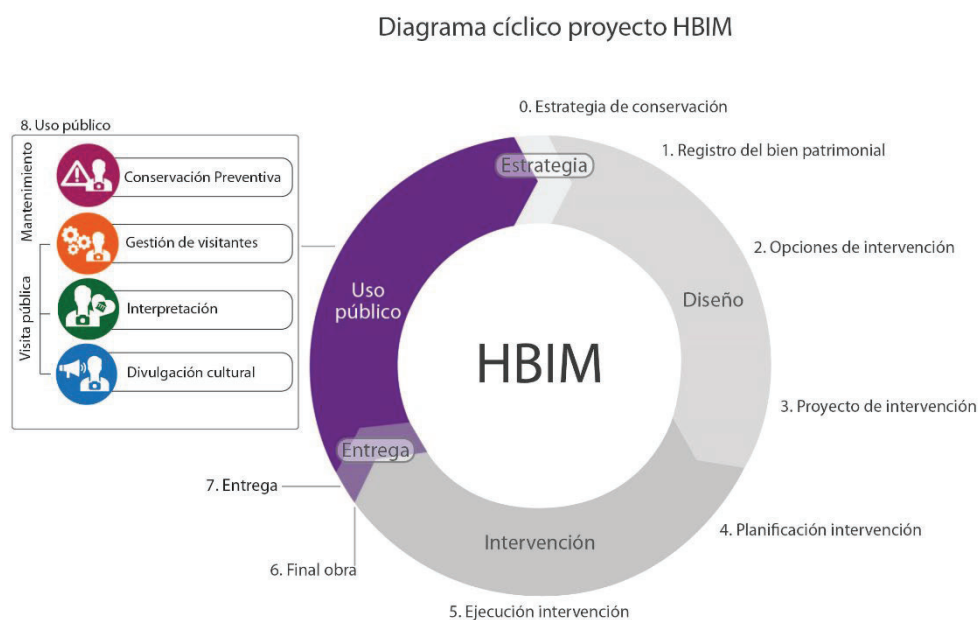


Imagen 2. Diagrama cíclico de un proyecto HBIM (Salvador-García, 2020). Image 2. Cyclical diagram of a HBIM project (Salvador-García, 2020).

El documento del Protocolo en sí detalla las directrices que se deben seguir para la correcta implementación de HBIM para el uso público. Estas directrices se componen de la matriz de responsabilidades, los usos HBIM para el uso público, los requisitos de información y los procedimientos de actuación para realizar con HBIM la conservación preventiva, la gestión de visitantes, la interpretación del patrimonio y la divulgación del patrimonio.

La matriz de responsabilidades detalla el elenco de agentes que pueden estar involucrados en cada uno de los cuatro ámbitos del uso público y destaca los agentes responsables (Imagen 3). Esta información ayudará al equipo de proyecto a definir los agentes que van a participar en el desarrollo de su proyecto HBIM específico

Matriz de responsabilidades HBIM_uso público

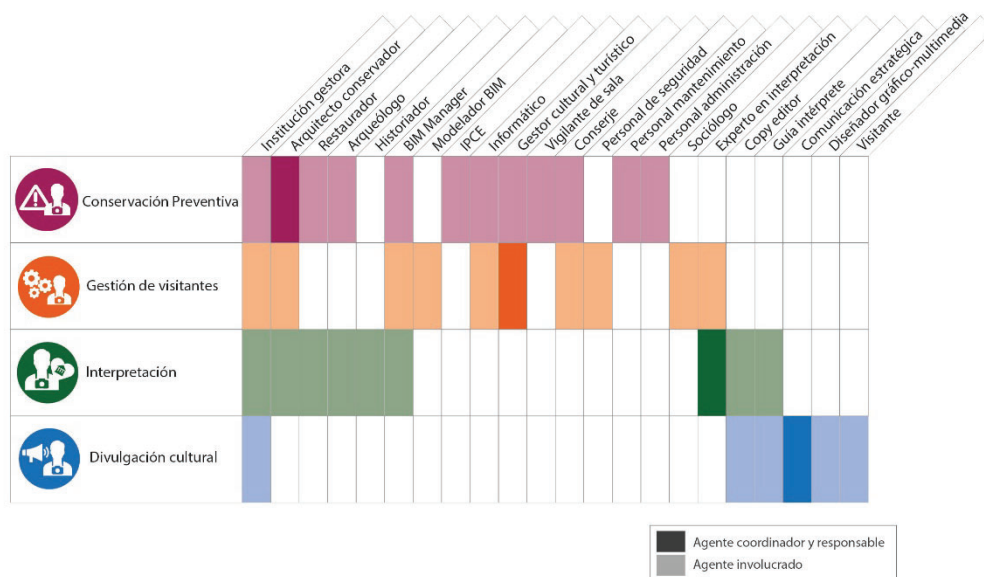


Imagen 3. Matriz de responsabilidades de los modelos HBIM para el uso público, (Salvador-García, 2020). Image 3. Matrix of responsibilities of HBIM models for public use, (Salvador-García, 2020).

Results

This article shows the results of the last stage of the research which consists of the development of the HBIM Protocol for visitor management of architectural heritage. This Protocol is structured in two parts: a first part of HBIM contextualisation and a second part which is the Protocol document itself.

The section that contextualises the HBIM working system is composed of the HBIM cyclical diagram, the description of the Common Data Environment as a proposal for working in a collaborative environment, the different states of the HBIM model throughout the life cycle of the heritage asset and the contracting process of an HBIM project. The cyclical HBIM diagram contains the main phases of a heritage project Strategy, Design, Intervention, Delivery and Public Use and details for the first time the four domains of public use (Image 2).

The Protocol document itself details the guidelines to be followed for the correct implementation of HBIM for public use. These guidelines are composed of the responsibility matrix, the HBIM uses for public use, the information requirements and the procedures for implementing HBIM for preventive conservation, visitor management, heritage interpretation and heritage dissemination.

The responsibility matrix details the range of actors that may be involved in each of the four areas of public use and highlights the responsible actors (Image 3). This information will help the project team to define the actors that will be involved in the development of their specific HBIM project

Conclusiones

La principal contribución de esta investigación ha sido desarrollar el primer Protocolo HBIM para el uso público del patrimonio arquitectónico a nivel internacional. Este Protocolo es una herramienta innovadora que va a permitir gestionar de manera más eficiente el uso público del patrimonio.

Para desarrollar esta investigación se ha aplicado el innovador método de investigación de las Ciencias del Diseño. Todas las fases que se han seguido para desarrollar este Protocolo han sido validadas por expertos del sector al que se dirige.

Este Protocolo tiene una aplicación directa y es totalmente transferible al sector del uso público del patrimonio y va a dar respuestas a necesidades futuras.

A partir de ahora, faltaría transferir los resultados de esta investigación al destinatario final, principalmente a las instituciones gestoras públicas para que adopten el Protocolo HBIM para contratar la planificación y gestión de sus edificios con HBIM.

Conclusions

The main contribution of this research has been to develop the first HBIM Protocol for the public use of architectural heritage at international level. This Protocol is an innovative tool that will allow a more efficient management of the public use of heritage.

In order to develop this research, the innovative research method of Design Sciences has been applied. All the phases followed to develop this Protocol have been validated by experts in the target sector.

This Protocol has a direct application and is fully transferable to the sector of public use of heritage and will provide answers to future needs.

From now on, it remains to transfer the results of this research to the final recipient, mainly to public management institutions so that they adopt the HBIM Protocol to contract the planning and management of their buildings with HBIM.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Arayaci, Y., Counsell, J., Mahdjoubi, L., Nagy, G., Hawas, S. y Dewidar K. (2017). *Heritage Building Information Modelling*. Londres y Nueva York: Routledge Taylor& Francis Group.
- British Standards Institution (2013). BS 7913:2013 Guide to the conservation of historic buildings.
- Brumana, R., D. Oreni, A. Raimondi, A. Georgopoulos y A. Bregianni (2013). From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: The case study of St. María in Scaria d'Intelvi. *Digital Heritage International Congress*, 497-504.
- Bruno, S., M. de Fino y F. Fatiguso (2018). Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management. *Automation in Construction*, 86, 256-276.
- Chaves, F.J., Tzortzopoulos, P., Formoso, C.T. y Biotto, C.N. (2016). Building information modelling to cut disruption in housing retrofit. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 170(6), 322-333.
- Dore, C. y Murphy, M. (2017). Current state of the art historic building information modelling. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2(2W5), 185-192.
- Fassi, F., A. Mandelli, S. Teruggi, F. Rechichi, F. Fiorillo y C. Achille, (2016). VR for Cultural Heritage A VR-WEB-BIM for the Future Maintenance of Milan's Cathedral. En: L.T. De Paolis and A. Mongelli (ed.), *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*. Springer International Publishing Switzerland, 139-157.
- García-Valldecabres, J.L., M.C. López-González y I. Jordán-Palomar (2018). The Study of Architectural Heritage with HBIM Methodology. A Medieval Case Study. En: E. Castaño Perea y Echeverría Valiente E. (eds.), *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica 2016*. Springer, Cham, 945-955.
- Historic England (2017). BIM for Heritage. Developing a Historic Building Information Model. Swindon: Historic England.
- Holmström, J., Ketokivi, M. y Hameri, A. (2009). Bridging practice and theory: a design science approach. *Decision Sciences*, 40(1), 65-87.

- ICOMOS (1999). Carta Internacional sobre Turismo Cultural [en línea]. [Consulta: 13 septiembre 2018]. Disponible en: https://www.icomos.org/charters/tourism_sp.pdf.
- Maxwell, I. (2016). COTAC BIM4C Integrating Report Part 1: Conservation Parameters.
- Salvador-García, E. (2020). *Protocolo HBIM para una gestión eficiente del uso público del patrimonio arquitectónico*. Universitat Politècnica de València, València. Tesis Doctoral. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/146811>.
- Vaishnavi, V., Kuechler, W. y S. (Eds. Petter). (2004). Design Science Research in Information Systems. *Association for Information Systems*, 66.
- Viñals, M.J., Mayor, M., Martínez-Sanchis, I., Teruel L., Alonso-Monasterio, P. y Morant M. (2017). *Turismo sostenible y patrimonio. Herramientas para la puesta en valor y planificación*. València: Editorial Universitat Politècnica de València. ISBN 978-84-9048-618-4.

COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DEL PRIMER EDIFICIO IMPRESO 3D EN ESPAÑA

ACOUSTIC BEHAVIOR OF THE FIRST 3D PRINTED BUILDING IN SPAIN

Andrea Salandin

*Investigador del CTF Centro de Tecnologías Físicas y Profesor Contratado Doctor en la Universitat Politècnica de València, València, Spain.
Researcher of the CTF Centro de Tecnologías Físicas and full profesor at the Universitat Politècnica de València, València, Spain.
ansa@fis.upv.es*

Ignacio Guillen

*Investigador del CTF Centro de Tecnologías Físicas, y Profesor Titular en la Universitat Politècnica de València, València, Spain.
Researcher of the CTF Centro de Tecnologías Físicas and full profesor at the Universitat Politècnica de València, València, Spain.
iguillen@fis.upv.es*

Alberto Quintana

*Investigador del CTF Centro de Tecnologías Físicas, y Doctor por la Universitat Politècnica de València, València, Spain.
Researcher of the CTF Centro de Tecnologías Físicas and PhD at the Universitat Politècnica de València, València, Spain.
alquigal@upv.es*

Vicente Gómez

*Investigador del CTF Centro de Tecnologías Físicas, y Profesor Titular en la Universitat Politècnica de València, València, Spain.
Researcher of the CTF Centro de Tecnologías Físicas and full profesor at the Universitat Politècnica de València, València, Spain.
vgomez@fis.upv.es*

Abstract

In recent years 3D printing of large objects, also known as additive manufacturing (AM), is quickly gaining popularity in various applications and domains (design, construction, medicine, architecture, mechanics). Physical objects can be created by mould making and material shaping or by depositing materials in layers based on a digital model. The idea was born on 1983 by Hull and in construction virtually any constructive element can be printed. The first printed house in Spain is the case study of this paper and our aim is to present its constructive process and characteristics as well as the acoustic behaviour.

Four former students of the UPV created on 2015 the company Be-More-3D seeking to apply their newly acquired 3D-printing knowledge and offering their revolutionary system in the housing market. The building shows a rectangular form with a surface of 23m² and the main façade facing West. The distribution of the spaces is organized in a living room, a sleeping room and a small bathroom. Specific in situ measures for acoustic insulation as well as some comparative calculations and simulations have been performed under national and international standards and norms using a professional equipment. The first 3D printed house in Spain shows an excellent acoustical performance with a global sound reduction index (SRI) between 36dB and 45dB suitable for quite noisy areas (up to 75dB).

Keywords

3D printing, acoustic behaviour, sound reduction index

Introducción y estado del arte resumido

La idea de impresión 3D de objetos de gran tamaño, también conocida como fabricación por adición, fue concebida en 1983 por Hull y en el caso de la construcción, el primer intento de realizar impresión 3D de cemento se llevó a cabo por Sachs et al. en 1993 [1]. Desde entonces se han diseñado aplicaciones para esta técnica en gran variedad de industrias, tales como la de la medicina, la construcción o la mecánica. Esto es posible gracias de diversas técnicas complementarias tales como moldeado, extrusión de materiales o la deposición progresiva de capas mediante un modelo digital [2].

La impresión in situ de edificios permite la reducción en el tiempo de ejecución de obra, lo que puede producir un ahorro estimado de costes del 35% comparado con métodos convencionales. Además, se consigue una reducción de residuos al poder ajustar la dosificación a las necesidades del proyecto, el clima y el elemento constructivo con una mayor homogeneidad en el proceso. Estos factores también pueden conllevar un ahorro en las emisiones de gases de efecto invernadero. Otro de los aspectos importantes es la reducción del riesgo de accidentes durante el proceso constructivo dado que solo se necesitan barreras de acceso [3]. Todos estos factores añaden automatización a las actividades constructivas y la impresión 3D prescinde de las dificultades que añaden los encofrados [4]. De manera teórica, cualquier forma puede ser impresa en 3D. La impresión de una estructura básica puede llevar un tiempo de 7 a 10 horas y la finalización del resto de actividades una semana. La impresión 3D se puede combinar con BIM (Building Information Modelling) para monitorizar todas las actividades en un entorno de trabajo dinámico [5]. Esta combinación puede facilitar la creación de edificios altamente customizados, permitiendo al mismo tiempo diseños complejos y formas sofisticadas. Perturbaciones durante la impresión causadas por cambios en el material o problemas durante el proceso pueden ser perjudiciales y pueden tener una influencia negativa en los resultados finales, así como en el comportamiento acústico y térmico [6].

La impresión en 3D de la Canal House en Amsterdam en 2014 y la impresión 3D del edificio diseñado por la empresa WinSun Decoration Design Engineering Company son los primeros ejemplos de edificios construidos siguiendo este procedimiento. En estos casos el material se extruye a través de una boquilla e impreso capa por capa en fábrica formando los elementos constructivos para luego ser trasladados y montados en obra. En 2015, una empresa procedente de China realizó una técnica similar de impresión 3D en la construcción de un edificio de 5 plantas [7]. Un edificio de viviendas en Francia, creado por la Universidad de Nantes en colaboración con el proyecto YHNOVA BatiPrint3D es el primer edificio realizado con impresión 3D en ser habitado [8]. En Alemania, una vivienda unifamiliar de 160 metros cuadrados fue inaugurada en Julio del año 2021 [9].

El objetivo de este trabajo es el análisis como caso de estudio de la primera casa impresa en 3D en España. El propósito es presentar y describir sus características innovadoras así como el comportamiento acústico a través de mediciones de campo [10] de acuerdo con la normativa española. Be more 3D es una start-up centrada en fabricación por adición. En Julio de 2018 presentó la primera casa contruida en territorio Español realizada enteramente utilizando una impresora 3D de microcemento de gran tamaño (7 metros de ancho por 5 de alto). La casa fue construida en el campos de Vera de la Universitat Politècnica de València (UPV). La empresa Be more 3D fue creada en 2015 por cuatro antiguos alumnos de la ETSIE, UPV con el objetivo de aplicar su recién adquirido conocimiento en impresión 3D al ámbito de la construcción. Este estudio incluye medidas de aislamiento a ruido aéreo realizadas in situ. Este documento forma parte de un estudio más amplio en el cual se realizarán también medidas de transmitancia térmica para evaluar el comportamiento térmico del edificio.

Presentación del edificio impreso y de la tecnología 3D

El edificio fue construido dentro de las instalaciones del Campus de Vera de la Universitat Politècnica de València (UPV). Debido a su clasificación como suelo urbano, la altura máxima permitida es de planta baja más uno. El edificio prototipo construido tiene una superficie construida de 23 m² y un volumen total de 64m³. Tal como se muestra en la Figura 1, el edificio tiene su fachada principal orientada al oeste, consta únicamente de una altura y tiene una planta rectangular

Introduction and summarized state of the art

The idea of the 3D printing of large objects, also known as additive manufacturing (AM), was born in 1983 by Hull and one of the first attempts of manufacturing a cement-based AM took place in 1993 by Sachs and al. [1]. In recent years various applications and domains from design to construction, medicine, or mechanics as physical objects can be easily created by many complementary techniques (mould making, material shaping or depositing materials in layers based on a digital model [2]).

A 3D in situ printing of housing allows a reduction of the execution times, obtaining much higher yields as well as economic yields savings 35% compared to conventional methods. Furthermore, a lower amount of waste is produced achieving a better dosage according to the needs of each climate and element with a higher homogeneity in the process. We also have a lower impact on the ecosystem reducing approximately 85% CO₂ emissions in the atmosphere, since the device only needs energy to work. An even more important reduction of occupational risks is achieved in addition to completely safe and closed site as only a simple system of barriers is needed to prevent access during printing [3]. All these drivers are adding automatization to construction activities and complex forms can be manufactured without costly and difficult to form shuttering [4]. Virtually in construction any constructive element can be printed. A basic structure can be printed in around 7 up to 10 hours and the finishing of the house (building systems and envelope) can take further 1 full week. The 3D printing can be coupled with Building Information Modelling (BIM) for taking and monitoring all variables in a dynamic working environment [5]. The combination of AM and BIM will facilitate the creation of a highly customized building, allowing at the same time complex designs and sophisticated forms. Disturbances during printing caused by changes in the material or problem in the process are detrimental to the successful building and can influence the final results and thermal and acoustic performances [6].

The 3D printing of the Canal House in Amsterdam in 2014 and the 3D building designed by the Chinese WinSun Decoration Design Engineering Company are the very first examples of AM. The material has been extruded through a nozzle of the printer layer-by-layer in a factory first and components have been assembled in the site. In 2015 a Chinese developer printed a five-story building using a similar technique [7]. A social housing building in France, created by the University of Nantes in collaboration with YHNOVA BatiPrint3D project, is the world's first inhabited 3D printed house [8]. A 160-square-meter single-family house has been inaugurated in Germany in July 2021 [9].

The object and case study of this paper is the first printed 3D house in Spain. Our aim is to present and describe its innovative constructive characteristics as well as the acoustic behaviour through specific metrics [10] according to the Spanish Technical Acts. Be More 3D, an additive manufacturing start-up, presented in July 2018 Spain's first house entirely built on-site using an extra-large (XL) 3D-printer (7m wide by 5 m. high) in micro-concrete, in the Vera campus of the Universitat Politècnica de València (UPV), Spain. Be-More-3D was established in 2015 by four former students of the UPV seeking to apply their newly acquired 3D-printing knowledge and offering their revolutionary system in the housing market. In order to evaluate the acoustic performance of the 3D printed house specific measures have been performed for the acoustic insulation. We will perform in the near future specific measures for thermal transmittance in order to evaluate also the thermal behaviour of this building.

Case study and 3D technology description

The 3D house was built within the facilities of the Universitat Politècnica de València (UPV), Vera Campus, Spain. Due to the classification as urban land, the maximum allowed height is ground and first floor. The prototype shows a surface of 23m² and a total volume of 64 m³ with main façade facing West and a rectangular form plan with two and opposite curved façades in just a single (ground) floor as shown on Figure 1. The distribution of the spaces is organized in a living room with a surface of 12.4m², a sleeping room with surface of 7.4m² and a small bathroom with 3.2m². The roof is made by a slab of five layers (3cm mortar, a prefabricated panel, 12cm embedded EPS in

con dos de sus esquinas redondeadas. La casa cuenta con una sala de estar de 12.4 m², una habitación de 7.4 m² y un baño de 3.2 m².

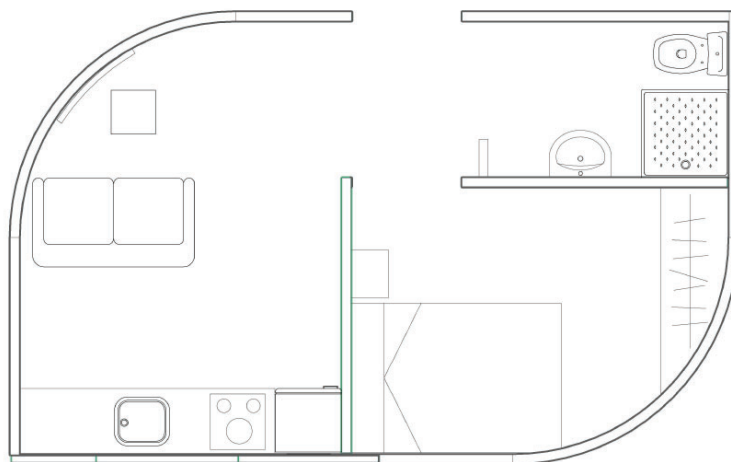


Figura 1. Plano de la casa impresa en 3D.

El tejado está compuesto de cinco capas (3 centímetros de mortero, un panel prefabricado, 12 cm de poliestireno expandido embebidos en mortero y una lámina bituminosa. La fachada fue realizada con un Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) tal y como se muestra en la Figura 2. La utilización de otros materiales aislantes con mejores propiedades térmicas y acústicas hubiera sido posible [11]. Los huecos de puertas y ventanas cuentan con premarcos y la carpintería empleada es de vidrio triple con las cámaras rellenas de argón. Los marcos son de aluminio con rotura de puente térmico para obtener un adecuado comportamiento acústico y térmico.

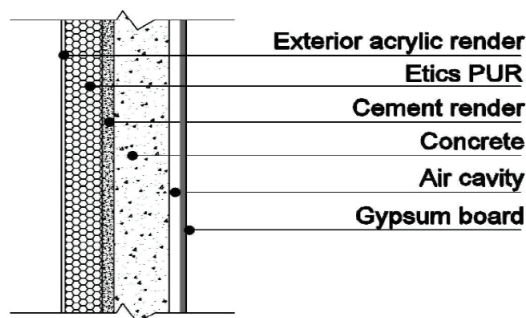


Figura 2. Detalle de la sección de la fachada

El prototipo ha sido impreso mediante una maquinaria perteneciente a la empresa ·D·CONCRETE S.L., la cual ha desarrollado y montado el dispositivo móvil capaz de realizar la extrusión del microcemento, material utilizado para la impresión 3D. El microcemento, formado por un conglomerado de cemento, áridos finos, fibras y aditivos, cumple con las indicaciones de la instrucción de hormigón estructural EHE-08. El montaje del instrumental tomó dos horas. El diseño del edificio fue modelado en un software de diseño en 3D y posteriormente importado al formato de archivo ".slt", permitiendo la impresión de las capas de acuerdo con unas coordenadas dadas. Una losa de cimentación se ha usado como apoyo para la maquinaria de impresión. Un sistema de bombeo conduce el material directo a una tolva y un tornillo motorizado ayuda a que fluya hacia la boca del extrusor, proporcionando la cantidad adecuada de material a cada capa. Las primeras capas son capaces de soportar las siguientes. La variación existente entre capas ha sido tenida en cuenta en cuanto al impacto que puede suponer a nivel de su aislamiento térmico. Datos específicos han sido recogidos para su futuro uso y análisis. Mediante este sistema tanto la envolvente como las particiones internas y los huecos para puertas y ventanas se realizan al mismo tiempo, de modo que

mortar, a bituminous sheet) while the façade shows an *External Thermal Insulation Composite System (ETICS)* with EPS as shown in Figure 2.

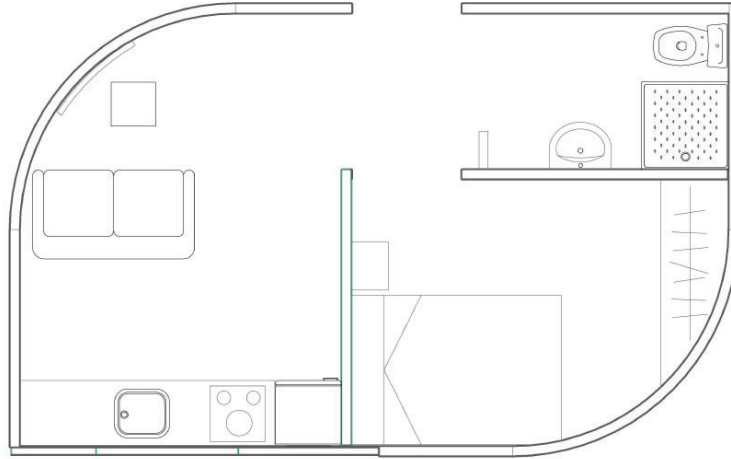


Figure 1. Plan of the 3D building.

Other insulation materials could have been used [11] with a direct impact on the thermal and acoustical behaviour. For windows and doors pre-frames have been foreseen. Triple glass carpentry with argon chamber, frames with thermal break and insulation in gaps are foreseen in order to achieve the correct value of transmittance and acoustical insulation.

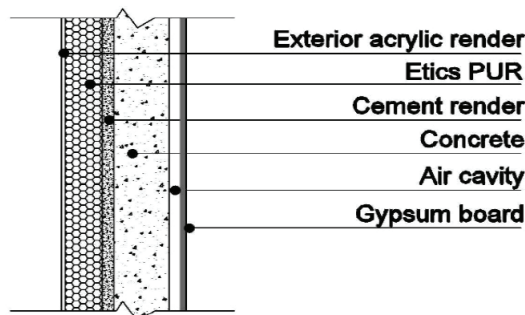


Figure 2. Façade detail

The prototype has been printed by a machine owned by the company 3DCONCRETE, S.L., which has developed and assembled the mobile device able to extrude micro-concrete, the material for the 3D print. The micro-concrete is made by a conglomerate of gray cement, fine aggregates, fibers and additives and meets the specifications for structural concrete that meets the indications of the Spanish technical act EHE-08. The setting time was around 2 hours. After designing the printing model using a 3D modeling software to correctly overlap all surfaces, the model is exported and a specific “.stl” file permits the printing of the layers according the given coordinates. The foundation slab has been used also as support plane of the concrete printing machine. A pump system brings the material directly in the hopper and a motorized screw helps it flow into the mouth of the extruder, getting the correct amount for each layer. The first layers are able to support the following ones without deformations and cracks as a cracking armor will be placed every 50 centimeters as a continuous ring achieving the best homogeneity in the final façade. Variation has been identified and taken into account due to weather conditions (wind and air humidity) as well as the time of printing. Specific data have been collected for further use and analysis. Using this system both the envelope of the building and the internal partitions are made at the same time, working the set as concrete load-bearing walls. The holes (windows and doors) have been designed as extrusion stop.

ambas trabajan como elementos de carga. Los huecos de puertas y ventanas se han diseñado como parada en el proceso de extrusión.



Figura 3. Proceso de impresión y resultado final de la casa impresa en 3D

Desarrollo y resultados experimentales del comportamiento acústico

El índice de atenuación acústica (R) mide el aislamiento a ruido aéreo cuantificando la atenuación que experimenta el sonido al pasar por un elemento constructivo. Se define como la diferencia en decibelios (dB) entre los niveles de presión acústica a ambos lados de un elemento. El (R) se puede medir tanto en condiciones de laboratorio como in situ. Debido a las condiciones del caso de estudio, se realizan mediciones in situ siguiendo las indicaciones de la normativa UNE EN ISO-140-1. Mediciones similares fueron tomadas en 2004 para analizar el comportamiento acústico de soluciones constructivas no convencionales en Portugal [12]. De acuerdo con las normativas pertinentes en materia de acústica [13], la diferencia de niveles normalizado ponderada, medida a dos metros de distancia ($D_{2m,n W}$), debe ser superior a 30 dB para zonas silenciosas urbanas (L_d hasta 60 dB) y superior a 42 para zonas urbanas con un L_d entre 70 y 75 dB. De igual modo que en otras normativas europeas, el Código Técnico de la Edificación (CTE, DB-HR) [13] un índice de incertidumbre correctivo de 3dB para ser añadido a las mediciones in situ. La medición acústica se realizó en 4 puntos de la fachada durante la tarde el 3 de octubre de 2018 para mantener unos bajos niveles de ruido de fondo, tal y como recomienda la normativa UNE-EN ISO-16283-3:2016 [14]. Los aparatos de medidas consisten en una fuente de sonido omnidireccional Bruel & Kjaer modelo 4295, la cual puede alcanzar un nivel máximo de 122dB en un rango de frecuencia de 100 a 3150Hz, y un amplificador modelo 2716. La toma de datos se realiza mediante un sonómetro Investigator acoustic analyser modelo 2260. Este sonómetro permite la recolección de datos de nivel de presión acústica del nivel de ruido de fondo, el nivel emisor, receptor e incluso la medición del tiempo de reverberación. Estas medidas tienen una resolución de 0,1 dB en el caso del nivel de presión acústica y de 0.001 segundos para la medición del tiempo de reverberación. Todos los aparatos empleados cumplen los estándares internacionales y las regulaciones nacionales.

Tal como se indica en el párrafo anterior, las mediciones se realizan de acuerdo a la normativa UNE-EN ISO-16283-3 y el Código Técnico de la Edificación (DB-HR). Las mediciones se realizan en las cuatro fachadas con un rango de frecuencia entre 100 y 3150Hz [15]. Los resultados obtenidos están reflejados en la Tabla 1.

Tabla 1. SRI global

Fachada	$D_{n,Tw}(C,Ctr)$	$D_{n,Tw,Ctr}$
A	39(-1,-3)	36 dB
B	50(-2,-5)	45 dB
C	49(-2,-5)	45 dB
D	48(-1,-4)	44 dB



Figure 3. First 3D printed house in Spain

Experimental methodology and results of the acoustical performance

The sound reduction index (SRI) measures the airborne acoustic performance quantifying the reduction in the intensity of sound when it passes through part of a building. It is the difference expressed in dB between the sounds levels at both parts for the building component. The SRI can be measured both in laboratory and on-site constructions. Due to the conditions for the case study, on site measurements were performed according to standard UNE-EN-ISO-140-5: 1999. Similar measurements were performed in 2004 for the acoustic performance evaluation for non-conventional solutions in Portugal [12]. According to the Spanish Building Acoustics Requirements Regulation, CTE-DB-HR [13], the weighted normalized airborne sound insulation index for façades, measured at 2m from them ($D_{2m,n W}$) should be greater than 30dB for quiet urban zones (L_d up to 60dB) and up a $D_{2m,n W}$ greater than 42dB for urban zones with L_d between 70dB and 75dB. As in other European standards, the Spanish building code defines an uncertainty corrective index of 3dB to be added to the in-situ measurements. The data collection for the acoustic performance was performed with point measurements on October 3th 2018 in the afternoon in order to keep lower background sound levels according the Standard UNE-EN ISO 16283-3:2016 [14]. For the SRI measurements, according to international standard and the Spanish acoustics regulations we used a Bruel & Kjaer complete equipment: an omnidirectional sound source type 4295, who can deliver a maximum sound power of 122 dB and 1 pW (100-3150Hz) powered by a power amplifier type 2716. The measurements data were collected using an Investigator acoustic analyser type 2260 with the building acoustics software. The analyser provides the measurements capabilities for measure SPL (for the outside and the inside), the background level noise in the receiving room and the reverberation time for the room. The resolution is 0.1dB for the sound pressure levels and 0.001s for the reverberation time measurements.

To establish the acoustic performance for the 3D printed building an in-situ test was performed according to international standard as UNE-EN-ISO-16283-3: 2016 and CTE-DB-HR in the four façades and for a frequency range from 100 Hz up to 3150 Hz [15]. There is a difference between the façade A with the entrance door (lower values) and the other ones due to the door effect on the air tightness on medium and high frequencies.

Tabla 1. Global SRI

Façade	$D_{n,Tw}(C,Ctr)$	$D_{n,Tw,Ctr}$
A	39(-1,-3)	36 dB
B	50(-2,-5)	45 dB
C	49(-2,-5)	45 dB
D	48(-1,-4)	44 dB

The global SRI results are summarised in Table 1 where we recognise a gap up to 9dB between the values for the façade A (entrance) compared with the other ones, according to

Tal como se puede observar en los resultados (Tabla 1) existe una diferencia de al menos 9 decibelios entre la fachada A y el resto. Esto es debido a la influencia de la puerta de entrada a la casa y la falta de hermeticidad de la misma. De acuerdo con la normativa UNE-EN ISO-717-1:2013 [16], el valor global $D_{n,Tw}(C,Ctr)$ se toma del ajuste de la curva de referencia ajustada en 500 Hz. Los términos C y Ctr representan la adaptación espectral de ruido rosa y ruido de tráfico respectivamente. De acuerdo con el Documento Básico de protección contra el ruido del Código Técnico de la Edificación (CTE DB-HR), es obligatoria la realización de simulaciones de aislamiento acústico de fachadas y particiones en todos los proyectos de construcción [17]. El modelo aceptado está descrito en la norma ISO-12354 [18]. En el caso de estudio los resultados de la aplicación de modelos teórico y su comparación con los modelos teóricos están reflejados en la Figura 4. Las diferencias entre las medidas tomadas y los resultados teóricos solo difieren en 2 dB. De acuerdo con el CTE la casa impresa en 3D es adecuada para la construcción en zonas con un nivel equivalente de ruido exterior (L_d) de hasta 75dB.

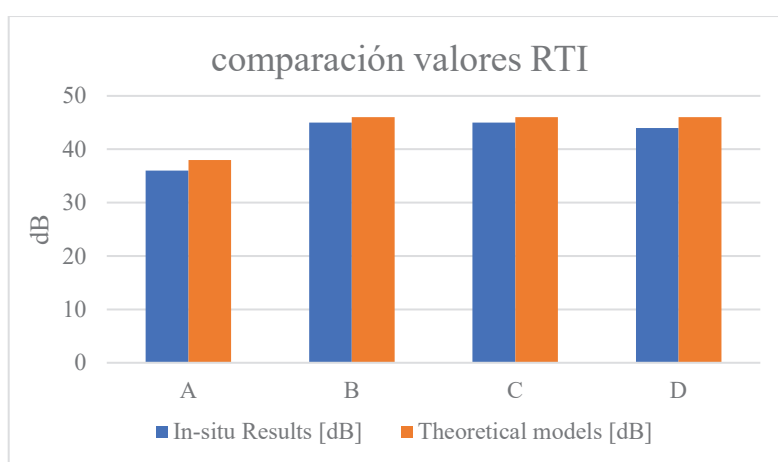


Figura 4. Comparación de los valores SRI calculados y en situ.

Conclusiones

La fabricación por adición o impresión 3D es una tecnología que se encuentra en un proceso de maduración y que permite un ahorro de tiempo y costes en la ejecución de una obra. La primera casa impresa en 3D en España ha sido presentada en este estudio con especial atención a su comportamiento acústico.

El nivel de aislamiento a ruido aereo ha sido medido y comparado con resultados teóricos de simulaciones. Dicha comparación muestra una diferencia máxima de dos decibelios con una incertidumbre de 3 dB definida por el CTE. Debido a ello se puede afirmar que existe concordancia entre los resultados medidos y los obtenidos mediante simulación. La presencia de la puerta de entrada, así como los posible defectos en su instalación tuvieron una influencia severa en los resultados. Esto se traduce en una diferencia de al menos 9 dB entre la fachada A y el resto de fachadas.

El comportamiento térmico y el efecto en el cambio de materiales aislantes, en términos acústicos y térmicos, será estudiado en el futuro así como una imagen infrarroja del edificio.

international standard UNE-EN-ISO-717-1: 2013 [16]. The global value $D_{n,Tw}(C,Ctr)$ represents the value in dB at 500Hz of a reference curve adjusted to the experimental value. The terms C and Ctr represent the spectral adaptation for pink noise and for traffic noise respectively. According to Spanish building standard CTE-DB-HR, it is mandatory during the design phase for all the buildings project to perform acoustic simulations for the acoustic insulation of all the façades and indoor partitions [17]. The model accepted on the standard is described on the ISO Standard EN 12354 based on the statistical energy analysis [18]. For the case study the results of the application of the theoretical models and its comparison with the in-situ results are displayed for the different façades in Figure 4. The differences between the performed measures and the theoretical results are just noticeable and under 2dB. According to current Spanish regulations the printed 3D house is suitable to be built in (noisy) urban zone with equivalent daily exterior sound level (L_d) up to 75d.

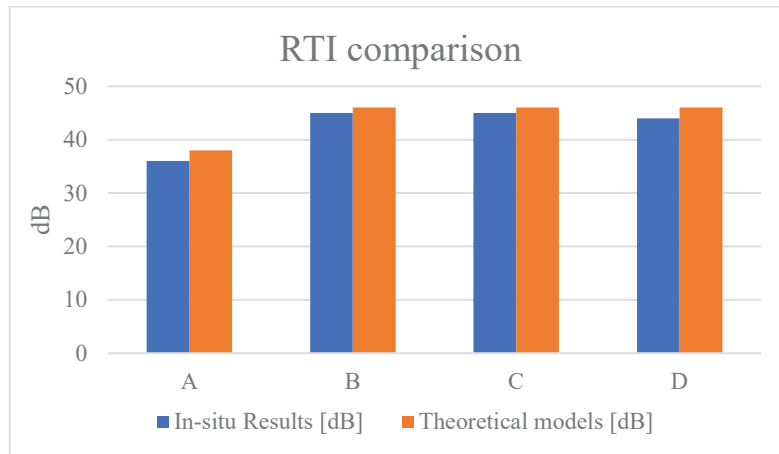


Figure 4. Comparison of in-situ and theoretical SRI

Conclusions

Additive manufacturing (AM) or 3D printing is a quite mature technology that allows to save time and money in a building construction. The first 3D printed house in Spain has been presented in this paper with a special regard to its acoustic performance.

The sound reduction index (SRI) was measured and compared with project simulations. For the four façades, the results show a maximum difference of 2 dB with an uncertainty index of 3 dB as defined in the Spanish Building Code (CTE). The presence of the entrance door and its installation influenced the acoustical results for façade A, with a difference of 8 dB from the others. Furthermore, the comparison of both theoretical and measured values for transmittance and standard SRI shows a good concordance.

The thermal performance and the effect of the change of the insulation materials in both, acoustical and thermal, behaviour of the building, will be studied next as well as a IR imaging check.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- [1] J. Pegna, Exploratory investigation of solid freeform construction, *Autom. Constr.* 5 (1997) pp 427–437.
- [2] S. Lim, R.A. Buswell, T.T. Le, S.A. Austin, A.G.F. Gibb, T. Thorpe. Developments in construction-scale additive manufacturing processes *Automation in Construction* 21 (2012) pp 262–268.
- [3] GuoWei Ma, Li Wang, Yang Ju. State-of-the-art of 3D printing technology of cementitious material—An emerging technique for construction. *Science China Technological Sciences* Volume 61, Issue 4, (2018) pp 475–495
- [4] Yi Wei Daniel Tay, Biranchi Panda, Suvash Chandra Paul, Nisar Ahamed Noor Mohamed, Ming Jen Tan & Kah Fai Leong. 3D printing trends in building and construction industry: a review. *Virtual and Physical Prototyping* (2017)
- [5] R.A. Buswell, W.R. Leal de Silva, S.Z. Jones, J. Dirrenberger. 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. *Cement and Concrete Research* 112 (2018) 37.
- [6] (Hager et al., 2016). REF: Izabela Hager, Anna Golonka, Roman Putanowicz. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? *International Conference on Ecology and new Building materials and products, ICEBMP 2016, Procedia Engineering* 151 (2016) pp 292–299
- [7] Yi Wei Daniel Tay, Biranchi Panda, Suvash Chandra Paul, Nisar Ahamed Noor Mohamed, Ming Jen Tan & Kah Fai Leong. 3D printing trends in building and construction industry: a review. *Virtual and Physical Prototyping* (2017).
- [8] Poullain, Philippe & Paquet, Elodie & Garnier, Sebastien & Furet, Benoît. On site deployment of 3D printing for the building construction – The case of Yhnova TM. *MATEC Web of Conferences*. 163. 01001. 10.1051/mateconf/201816301001. (2018)
- [9] 3D printed House in Germany. <https://www.peri.com/en/media/press-releases/germanys-first-printed-house-officially-openend.html>. (December 2021)
- [10] First 3D printed House in Spain <https://www.efe.com/efe/english/technology/spain-s-first-3d-printed-house-presented-in-valencia/50000267-3697388> (April 2019)
- [11] A. Santoni, P. Bonfiglio, P. Fausti, C. Marescotti, V. Mazzanti, F. Mollica, F. Pompoli, Improving the sound absorption performance of sustainable thermal insulation materials: Natural hemp fibres. *Appl. Acoustics* 150 (2019) pp 279–289.
- [12] L. Bragança, M. Almeida, S. Silva, P. Mendonça, Acoustic Evaluation of some Non-Conventional solution in Construction. *Acustica*. Paper ID: 178. (2004) pp. 1-8.
- [13] Código Técnico de la Edificación (Spanish Technical Building Act). Documento Básico de Protección frente al Ruido (Basic Document for Protection against Noise). <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-proteccion-frente-ruido.html> (July 2019)
- [14] UNE-EN ISO 16283-3: 2016 Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Façade sound insulation.
- [15] J. Keränen, J. Hakala, V. Hongisto, The sound insulation of façades at frequencies 5–5000 Hz. *Build. Environ.* 156 (2019) pp. 12-20.
- [16] UNE-EN-ISO-717-1: 2013. Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation.
- [17] C. Ming Mak, Z. Wang, Recent advances in building acoustics: An overview of prediction methods and their applications. *Build. Environ.* 91 (2015) pp. 118-126.
- [18] R.J.M Craik, *Sound Transmission Through Buildings Using Statistical Energy Analysis*, Gower (1996)

CHAPTER 5

TOWN PLANNING

CAPÍTULO 5 URBANISMO

LA VIVIENDA JAPONESA: TRADICIÓN VERSUS MODERNIDAD

JAPANESE HOUSING: TRADITION VERSUS MODERNITY

Quiteria Angulo Ibáñez

*Investigador en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Profesor Asociado, Arquitecto. Doctora en Arquitectura por la UPV. E-mail: quianib@csa.upv.es
Researcher in the Department of Architectural Constructions; Universitat Politècnica de València, Assistant Professor. Architect. PhD in Architecture by the UPV.*

Francisco Oña Tudela

Arquitecto / Architect

Abstract

The present study tries to compare the most significant elements of the traditional Japanese house, with the present time. Both in its materiality and in its different typologies, it is observed which of its compositional principles and balance of its architecture have been preserved and which of them have been completely forgotten, remaining as a simple detail in the course of the history of the architecture of Japan.

This work focuses on environment, functionality, materiality, and form, to understand the origin of Japanese architecture in comparison with what is currently being built.

Keywords

Minka, Casa tradicional japonesa, Ken, Doma, Tatami.

Introducción

En este trabajo se resaltarán los elementos más significativos de la vivienda japonesa tradicional desde el punto de vista compositivo y formal. Con el paso de los años la arquitectura en el país nipón ha ido evolucionando, adaptándose a los nuevos tiempos y a la situación tan particular que sufren en el continente asiático, con unos principios compositivos rompedores e innovadores, en cierto punto equiparables a los principios del movimiento moderno europeo. El interés del trabajo consiste en estudiar la arquitectura de la vivienda japonesa y observar su evolución, en base a un estudio completo de la vivienda tradicional unifamiliar de las clases no gobernantes “*Minka*”.

Algunos arquitectos, japoneses y no japoneses, han optado por conservar parte de esta tradición y otros que deciden separarse de ella. Por lo que para estudiarlo se diferenciarán cuatro parámetros que tratan de:

Lugar, Función, Materiales y Forma.

Si Japón ha adquirido una identidad tan fuerte, definida y rica es porque durante un tiempo no estuvo expuesto a ninguna influencia externa. Durante más de 220 años, Japón siguió una política exterior aislacionista conocida como “*Sakoku*”, lo que hizo de él un «país cerrado». Esta situación contribuyó a que las ciudades prosperaran y la economía avanzase con dinamismo, además, de que se desarrollara y florecieran las costumbres, las tradiciones y la cultura de Japón.

La filosofía de vida de los japoneses sigue muy ligada a la tradición y esto se ve reflejada en la arquitectura contemporánea basada en las viviendas tradicionales.

Las viviendas tradicionales llamadas “*Minka*”, estaban habitadas por granjeros, artesanos y comerciantes, por lo que se traducen como casas rurales. Estas viviendas estaban caracterizadas por estar elevadas sobre el terreno, por su estructura de madera, vinculada con diferentes tipos de encastres, paredes de adobe, techos de paja, con diferentes formas y terrazas con solado de tablas de madera bajo los aleros. En cambio, en la arquitectura contemporánea de Japón, no aparecen la gran mayoría de los elementos que caracterizaban estas viviendas ya que se substituyen por, estructuras de hormigón ocultas por paneles de yeso, cubiertas planas, desaparecen las terrazas o se sitúan en el interior y otros elementos que se verán a continuación.

Las “*Minka*” contaban con cubiertas con una gran inclinación que permitía un rápido desalojo de la nieve, igual que ayudaba a una correcta regularización de la temperatura en la vivienda. Gran parte de la arquitectura contemporánea ha conservado la idea de cubierta de madera como una referencia clara a la vivienda tradicional, a pesar de su cambio de materiales, construcción y composición.



Imagen 1. Vivienda tradicional Minka.

Image 1. Traditional Minka housing



Imagen 2. Cubierta tradicional a dos aguas Image 2. Traditional pitched roof

Lugar

Para la cultura japonesa lo ideal es estar rodead de vegetación, ya sea por sus bosques o por los propios jardines japoneses de las viviendas, que les ayuda y beneficia a desconectar. La asociación que se tiene de la relación entre la naturaleza y la arquitectura japonesa se podría justificar por la existencia de elementos constructivos que existen alrededor de las viviendas y que funcionan como elementos de transición con la naturaleza sin dejar de ser un espacio definido por la arquitectura.

Se busca una relación directa con la naturaleza. Incluso aquellas viviendas que estaban situadas en las ciudades y las zonas urbanas disponían de un pequeño jardín. Los jardines japoneses forman parte de la cultura del país y compone uno de los espacios más significativos de la vivienda japonesa tradicional cargado de mucho simbolismo. Se ha considerado desde siempre una naturaleza creada e ideada por el hombre, ya que no es una simple copia de la naturaleza, sino una reinterpretación de ella.

Así pues, un jardín japonés siempre tiene agua, ya sea un estanque o arroyo; estos estanques cuentan con rocas que representan pequeñas islas, arena y gravas como representaciones de las montañas o playas del país.



Imagen 3. Jardín tradicional japonés
Image 3. Traditional japanese garden



Imagen 4. Entorno natural de las casas tradicionales
Image 4. Natural location of traditional houses

Sin embargo, el lugar en la arquitectura japonesa ha ido evolucionando al igual que ha evolucionado la cultura y la sociedad japonesa. La arquitectura japonesa continúa asumiendo hoy en día el impacto

exterior. Al igual que en la antigüedad siguen buscando las transiciones entre interior-exterior. Entendido como si de capas se tratasen, al adentrarse en la vivienda van eliminándose capas.

En la actualidad, se ha cambiado el paisaje natural por los grandes rascacielos y las grandes ciudades. Pese a ello, los elementos arquitectónicos más importantes, se han adaptado a la modernidad. Japón contiene ciudades que han recibido el nombre de megaciudades, por lo que la aglomeración, el sonido y el poco espacio que disponen en ellas hacen que sea muy costoso encontrar la misma cantidad de espacios verdes que anteriormente disponían. Sin embargo, la arquitectura se ha adaptado para intentar incorporar en las ciudades el elemento verde al interior de las construcciones y así conseguir el efecto que en la antigüedad suponía.



Imagen 5. Lugar actual donde se sitúan las viviendas
Image 5. Current location of housing units



Imagen 6. Jardín en el interior de las construcciones
Image 6. Gardens inside the buildings

Función

La tipología de las viviendas permitía una gran flexibilidad, y disponían de varios modelos. Cuando imaginamos una vivienda tradicional japonesa, observamos cubiertas a dos aguas, y esta es una de las características más interesante de las “Minka”. Las cubiertas suelen ser a dos aguas, a cuatro aguas o mixtas.

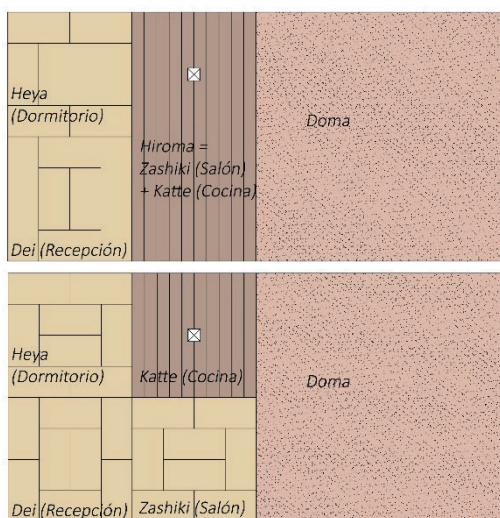


Imagen. 7. Distribuciones diferentes de las viviendas tradicionales
Image. 7. Different layouts from traditional

El espacio de la vivienda se encuentra dividido en dos secciones: un suelo de tierra compactada llamado “Doma” y un suelo elevado (generalmente unos 50cm sobre el nivel de la doma) cubierto de paneles o esterillas de “Tatami” o “Mushiro”. La doma se usaba para la mayoría de las tareas relacionadas con la cocina o la granja. Se trata de un espacio en el cual se realizaban todas las actividades relacionadas con trabajo de la tierra, el trato con los vecinos, etcétera⁴. Tiene un suelo de tierra batida, “Tataki”, estableciéndose como transición entre el exterior y la estancia.

Por otro lado, el espacio interior de una vivienda tradicional japonesa es muy flexible, pero siempre contiene los mismos elementos como son la recepción, el salón, la cocina y los dormitorios, por lo que las

Introduction

This paper will highlight the most significant elements of traditional Japanese housing from a compositional and formal point of view. Over the years the architecture in Japan has evolved, adapting to the new times and to the particular situation they suffer in the Asian continent, with innovative and groundbreaking compositional principles, to some extent comparable to the principles of the European modern movement. The interest of the work consists of studying the architecture of the Japanese house and observing its evolution, based on a complete study of the traditional single-family dwelling of the non-ruling classes "Minka".

Some architects, Japanese and non-Japanese, have chosen to preserve part of this tradition and others who decide to separate themselves from it. So, to study it, four parameters will be differentiated, dealing with:

Place, Function, Materials and Form.

If Japan has acquired such a strong, defined, and rich identity, it is because for a time it was not exposed to any external influence. For more than 220 years, Japan followed an isolationist foreign policy known as "Sakoku", which made it a "closed country". This situation helped the cities to prosper and the economy to develop dynamically, and the customs, traditions, and culture of Japan to develop and flourish.

The Japanese philosophy of life is still very much tied to tradition, and this is reflected in contemporary architecture based on traditional dwellings.

The traditional dwellings, called "Minka", were inhabited by farmers, craftsmen, and merchants, and are therefore translated as rural houses. These dwellings were characterized by being elevated above the ground, by their wooden structure, linked with different types of sockets, adobe walls, thatched roofs, with different shapes and terraces with wooden plank flooring under the eaves. On the other hand, in contemporary Japanese architecture, most of the elements that characterized these dwellings do not appear, as they are replaced by concrete structures hidden by plaster panels, flat roofs, terraces disappear or are in the interior, and other elements that will be discussed below.

The "Minka" had roofs with a steep slope that allowed the snow to be cleared quickly, as well as helping to regulate the temperature in the house. Much contemporary architecture has retained the idea of the wooden roof as a clear reference to the traditional dwelling, despite its change in materials, construction, and composition (Image 1-2).

Location

For the Japanese culture, the ideal is to be surrounded by vegetation, either in their forests or in the Japanese gardens of the houses themselves, which helps and benefits them to disconnect. The association of the relationship between nature and Japanese architecture could be justified by the existence of constructive elements that exist around the houses and that function as elements of transition with nature without ceasing to be a space defined by the architecture.

A direct relationship with nature is sought. Even those dwellings that were in cities and urban areas had a small garden. Japanese gardens are part of the country's culture and are one of the most significant spaces in the traditional Japanese home, loaded with a great deal of symbolism. It has always been considered a nature created and devised by man, as it is not a simple copy of nature, but a reinterpretation of it.

Thus, a Japanese garden always has water, whether it is a pond or a stream; these ponds have rocks representing small islands, sand, and gravel as representations of the mountains or beaches of the country (Image 3-4).

However, the place in Japanese architecture has evolved as Japanese culture and society has evolved. Japanese architecture today continues to take on the impact of the exterior. As in ancient times, they continue to seek transitions between inside and outside. Understood as layers, as you go deeper into the house, the layers are removed.

estancias se mantienen en todo momento conectadas entre ellas, manteniendo la flexibilidad de la vivienda. Estos aspectos se pueden observar en la actualidad en algunas viviendas.

La búsqueda de la flexibilidad en la arquitectura está presente en la actualidad gracias a los elementos que se utilizaban en la vivienda tradicional con puertas correderas de papel de arroz o persianas de caña. Estos elementos reciben el nombre de “Shoji”. Construidas con papel o tela extendidos a ambos lados de un bastidor de madera con carriles y travesaños verticales y horizontales. Las “shoji” permiten leer la vivienda como un conjunto, una transición continua de espacios sin la necesidad de materializar un pasillo, por lo que esta solución en la arquitectura contemporánea se entiende como una de las mejores soluciones para lograr la flexibilidad de la vivienda.

Sin embargo, en la actualidad la zona destinada al trato con los vecinos (zonas de visitas) ha desaparecido como tal para incorporarse al interior de la vivienda y solo se ha conservado una única sala con tatami, a pesar de tratarse de espacios flexibles. Otro elemento como el baño, le ha sucedido el mismo destino, de estar situado al exterior a ocupar un lugar en el interior de la vivienda.

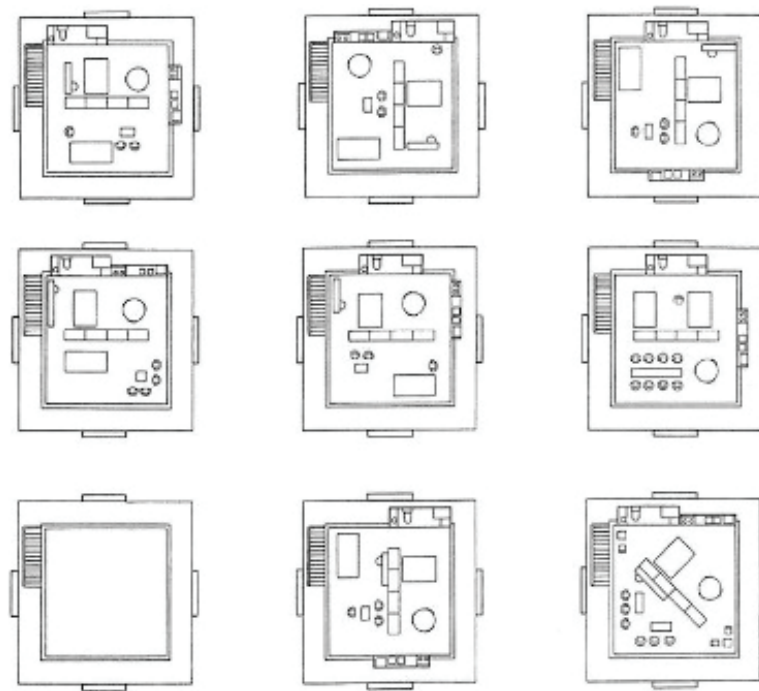


Imagen 8. Flexibilidad de la vivienda Skyhouse, Kiyonori Kikutake (1958)
Image 8. Sky house flexibility, Kiyonori Kikutake (1958)



Imagen 9. Puertas correderas de papel de arroz
Image 9. Rice paper sliding doors

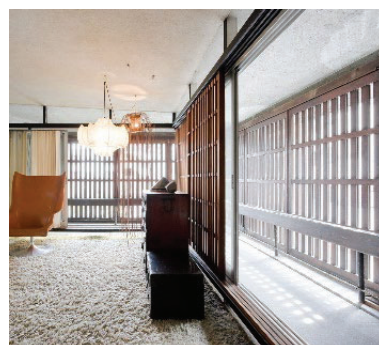


Imagen 10. Puertas correderas de papel de arroz contemporáneas
Image 10. Contemporary rice paper sliding doors

Today, the natural landscape has been replaced by skyscrapers and big cities. Nevertheless, the most important architectural elements have been adapted to modernity. Japan contains cities that have been given the name of mega-cities, so the crowdedness, noise and limited space in these cities make it very difficult to find the same amount of green space as before. However, architecture has adapted to try to incorporate the green element into the cities' interiors to achieve the effect that it had in ancient times (Image 5-6).

Function

The typology of the houses allowed for great flexibility, and there were several models available. When we imagine a traditional Japanese house, we see gable roofs, and this is one of the most interesting characteristics of the "Minka". The roofs are usually gabled, hipped, or mixed (Image 7). The living space is divided into two sections: a compacted earth floor called "Doma" and a raised floor (usually about 50cm above the level of the doma) covered with "Tatami" or "Mushiro" mats or panels. "Doma" was used for most tasks related to cooking or farming. It is a space in which all activities related to working the land, dealing with neighbours and so on were carried out. It has a beaten earth floor, "Tataki", establishing itself as a transition between the exterior and the living space.

On the other hand, the interior space of a traditional Japanese house is very flexible, but it always contains the same elements such as the reception, living room, kitchen, and bedrooms, so the rooms are always connected to each other, maintaining the flexibility of the house. These aspects can be seen today in some homes.

The search for flexibility in architecture is still present today thanks to the elements that were used in traditional housing with sliding doors made of rice paper or reed shutters. These elements are called "Shoji". They are made of paper or cloth stretched on both sides of a wooden frame with vertical and horizontal rails and crossbars. The "shoji" makes it possible to read the dwelling, a continuous transition of spaces without the need to materialize a corridor, which is why this solution in contemporary architecture is understood as one of the best solutions to achieve flexibility in the dwelling. However, at present, the area intended for dealing with neighbors (visitor areas) has disappeared as such to be incorporated into the interior of the dwelling and only a single room with tatami has been conserved, even though these are flexible spaces. Another element, such as the bathroom, has had the same fate, from being located outside to occupying a place inside the dwelling (Image 8-9-10).

Materials

All the elements and materials used in the construction are natural materials such as wood, bamboo, earth, straw, reeds, lacquer, and paper. These local materials were found in forests, rivers, and mountains. The most used material was wood, partly because of the variety of climates in Japan. They are local, cheap, self-supporting materials for self-sufficiency and construction. The frame structure of the "Minka", its roof, walls and columns are made of wood. However, in contemporary architecture, it is a search to adapt classical concepts to contemporary materials (bricks, stone, concrete, steel, glass, plastic, aluminum, and wood). Image 11-12 and 13.

Form

Form consists of measurements based on human proportion. The size of the rooms is based on the dimensions of the tatami, these have a module that traces and regulates the rooms with the particularity that all have identical or practically equal dimensions that are related to each other. The "Ken" weft is the module that defines the measurements of a tatami, so a tatami measures $\frac{1}{2} \times 1$ "ken" and is the basic module for the design. In traditional housing, the "Ken" grid governs the structure and the additive sequence, from space to space, of the different rooms. The "Shaku", on the other hand, is the national unit of measurement and is equal to 30.3 cm and is divisible into decimal units called sun. This fact means that the module has disappeared in the dwellings simply because this room does not exist.

Materiales

Todos los elementos y materiales empleados en la construcción son materiales naturales como madera, bambú, tierra, paja, juncos, cañas, laca y papel. Estos materiales de proximidad se encontraban en bosques, ríos, montañas. El material más utilizado era la madera, en parte debido a la variedad de climas en Japón. Son materiales locales, baratos, de autoabastecimiento y construcción. El armazón de la estructura de la “Minka”, su tejado, paredes y columnas se sujeción están hechos de madera. Sin embargo, en la arquitectura contemporánea se trata de una búsqueda de adaptar los conceptos clásicos a los materiales contemporáneos (ladrillos, piedra, hormigón, acero, vidrio, plástico, aluminio y madera).

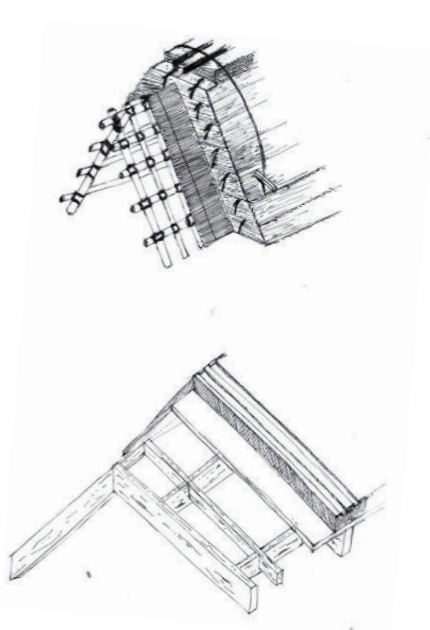


Imagen 11. Comparación de la cubierta a dos aguas tradicional y las actuales soluciones de cubiertas a dos aguas
Image 11. Comparison of traditional pitched roof and current pitched roof solutions



Imagen 12. Cubierta con paja y madera
Image 12. Wood and Straw roof



Imagen 13. Cubierta de madera volada
Image 13. Cantilevered wooden roof

Forma

La forma consta de las medidas basadas en la proporción humana. El tamaño de las habitaciones se basa en las dimensiones del tatami, estas tienen un módulo que traza y regula las habitaciones con la particularidad de que todas dispongan de dimensiones idénticas o prácticamente iguales que guarden relación unas con otras. La trama “Ken”, se trata del módulo que define las medidas de un tatami, por lo que, un tatami mide 1/2 x 1 “ken” y es el módulo básico para el diseño. En la vivienda tradicional la trama “Ken” rige la estructura y la secuencia aditiva, de espacio a espacio, de las diferentes habitaciones.

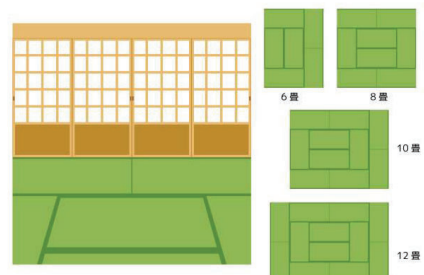


Imagen 14. Módulo Ken en tatamis y composiciones
Image 14. Ken module in tatamis and compositions

Form

Form consists of measurements based on human proportion. The size of the rooms is based on the dimensions of the tatami, these have a module that traces and regulates the rooms with the particularity that all have identical or practically equal dimensions that are related to each other. The "Ken" weft is the module that defines the measurements of a tatami, so a tatami measures $\frac{1}{2} \times 1$ "ken" and is the basic module for the design. In traditional housing, the "Ken" grid governs the structure and the additive sequence, from space to space, of the different rooms (Image 14). The "Shaku", on the other hand, is the national unit of measurement and is equal to 30.3 cm and is divisible into decimal units called sun. This fact means that the module has disappeared in the dwellings simply because this room does not exist.

Another difference that can be observed is the sloping roof, which allows rain and snow to fall to the ground quickly, preventing the water from starting to rot the roof. However, today's roofs have evolved into roofs with less inclination, even flat roofs, thanks to the materials that compose them and avoid the problems of antiquity (Image 15).

Conclusions

Traditional housing sought to open up to beautiful landscapes and allowed for flexibility and local building materials. Surrounded by beautiful landscapes, Japanese architecture was nourished by this environment for housing. The strong traditional elements such as environment, materiality, function and form are tried to be assumed in contemporary housing. In today's architecture, however, the amount of outdoor green space has been reduced due to urban overcrowding. Another milestone is the high sloping roofs that are decreasing in slope. The modular interior space of tatami and dressage is maintained today, although, in many occasions, the use of this has been lost, although it is still modulated. The interior is a flexible space, either with sliding doors, curtains or even with furniture with which, depending on its arrangement, the space creates another environment.

Finally, where the architecture has really changed is in the use of materials, as a house built entirely of wood has evolved from indigenous materials to created or industrialized materials.

The essence of traditional Japanese architecture has been maintained to this day.

Source images

Image 1. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gassho-zukuri_farmhouse-01.jpg

Image 2. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/949006/arquitecturas-reversibles-de-japon-las-casas-de-shirakawa-go>

Image 3. <https://www.byrum.se/arkitektur/fritt-fran-konstgjorda-inslag-i-japanska-tradgarden/>

Image 4. <https://pt.garynevillegasm.com/novosti-i-obschestvo/64710-yaponskie-domiki-tradicionnye-yaponskie-chaynye-domiki.html>

Image 5. <https://www.thousandwonders.net/Tokyo+Metropolitan+Government+Building>

Image 6. <https://gd2tech2014.wordpress.com/exercise-two-studio-precedent/elliott-olney-kanagawa-institute-technology/>

Image 7. Own source

Image 8. https://www.urbipedia.org/hoja/Sky_House

Image 9. Nagano, G. (2017, 26 de Enero) How to Replace the Paper on “Shoji” Doors. Sitio web: <https://allabout-japan.com/en/article/3513/>

Image 10. <https://iwan.com/portfolio/kikutake-sky-house/>

Image 11. Own source

Image 12. https://www.destimap.com/index.php?act=attraction&a=Minka_Museo-de-Arte-Moderno-La-Casa-de-Japon%2C-San-Isidro%2C-Argentina

Image 13. Photograph by Takeshi Uemura

Image 14. <https://progresivostudio.com/2020/02/11/la-proporcion/>

Image 15. Own source

El “Shaku”, por otro lado, es la unidad de medida nacional y equivale a 30.3 cm y es divisible en unidades decimales llamadas sun. Este hecho hace que el módulo haya desaparecido en las viviendas por el mero hecho de no existir esta sala.

Otra diferencia que se puede observar es en la cubierta inclinada, permite que la lluvia y las nieves caigan al suelo rápidamente, evitando que el agua empiece a pudrir el tejado. Sin embargo, las cubiertas en la actualidad han evolucionado hasta convertirse en cubiertas con menos inclinación, incluso, en cubiertas planas, gracias a los materiales que la componen y evitan los problemas de la antigüedad.

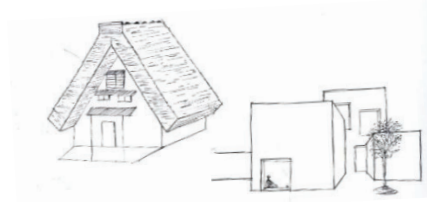


Imagen 15. Diferencia entre la vivienda tradicional y un ejemplo de actualidad

Image 15. Difference between traditional housing and a contemporary example

Conclusiones

La vivienda tradicional buscaba abrirse a hermosos paisajes y permitía flexibilidad y materiales constructivos de proximidad. Rodeada de hermosos paisajes la arquitectura japonesa se nutría de este ambiente para la vivienda. Los fuertes elementos tradicionales como son el entorno, materialidad, función y forma, se intentan asumir en las viviendas contemporáneas. Sin embargo, en la arquitectura actual, se ha visto mermado el espacio de zonas verdes exteriores, a causa de la masificación en las ciudades. Otro hito son las altas cubiertas inclinadas que van mermando pendiente. El modular espacio interior de tatami y doma se mantienen en la actualidad, aunque, en muchas ocasiones, se ha perdido el uso de este, aunque siga modulado. El interior es un espacio flexible, ya sea con las puertas correderas, cortinas o incluso con mobiliario con el que, según su disposición, el espacio crea otro ambiente.

Finalmente, donde se ha visto realmente cambiada la arquitectura es en el uso de materiales, como una vivienda construida completamente con madera, ha evolucionado desde materiales autóctonos a materiales creados o industrializados.

La esencia de la arquitectura japonesa tradicional se ha mantenido hasta nuestros días.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Minka (Japón) (15 de abril de 2021). Wikipedia, La enciclopedia libre. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Minka_\(Jap%C3%B3n\)&oldid=134794843](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Minka_(Jap%C3%B3n)&oldid=134794843).
- ArqDis Uniandes. (29 de septiembre de 2020) [re] Japón - La tradición moderna de la arquitectura japonesa [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=sPtXBmKvIps>
- Chica, D., Navas, L., González, M., Olarte, F., Mielles, C., Valderrama, E. (27 de septiembre de 2016) Casa Minka. (Presentación de PowerPoint). SlideShare. <https://es.slideshare.net/lenavas10/casa-minka>
- Elías Bonells, J. (21 de noviembre de 2017) La filosofía del jardín japonés. Blog Jardines sin Fronteras. <https://jardinessinfronteras.com/2017/11/21/la-filosofia-del-jardin-japones/>
- Hisour. (s.f.) Arquitectura Japonesa. <https://www.hisour.com/es/japanese-architecture-31450/>
- Nakawaga, T (2016) La casa japonesa. Espacio, memoria y lenguaje, E. Reverté
- Niimi Longhurst, E. (2018) Japonismo. El arte de alcanzar una vida plena, E. Libros Cúpula
- Sitio web oficial de consulta Facultad de Diseño y Comunicación de Palermo “La vivienda del Japón. Del Minka al Suyinka”, https://fido.palermo.edu/servicios_dyc/publicacionesdc/vista/detalle_articulo.php?id_libro=120&id_articulo=467
- Sitio web oficial de consulta JAANUS. Japanese Architecture and Art Net User System, “Magariya”, <http://www.aisf.or.jp/~jaanus/deta/m/magariya>
- Yazawa, Y. (2018) Así es japon, E. Grijalbo

ABITAZIONI PREFABBRICATE: VERSO UN ARCHETIPO UNA RASSEGNA DI SOLUZIONI CONTEMPORANEE

PREFAB HOUSES: TOWARDS AN ARCHETYPE A REVIEW OF CONTEMPORARY SOLUTIONS

Federico Cavaliere

Dottorando in Architettura Tecnica presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale dell'Università degli Studi dell'Aquila. Ingegnere in Edile-Architettura presso Università degli Studi di L'Aquila. E.mail: federico.cavaliere@graduate.univaq.it

Ph.D. student in Architectural Engineering at the Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of L'Aquila. Engineer in Building Architecture at the University of L'Aquila. E.mail: federico.cavaliere@graduate.univaq.it

Marianna Rotilio

Ricercatrice presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale dell'Università degli Studi dell'Aquila. Dottore di ricerca in Ingegneria Edile-Architettura UE presso Università degli Studi di Pavia, Ingegnere in Edile-Architettura presso Università degli Studi di L'Aquila. E.mail: marianna.rotilio@univaq.it (autore corrispondente)

Researcher at the Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of L'Aquila. PhD in Construction-Architectural Engineering at the University of Pavia, Engineer in Building Architecture at the University of L'Aquila. E.mail: marianna.rotilio@univaq.it (corresponding author)

Pierluigi De Berardinis

Ordinario di Architettura Tecnica presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale dell'Università degli Studi dell'Aquila. Prorettore Delegato per l'Edilizia Dell'Università. Ingegnere Civile Edile presso l'Università degli Studi di Roma La Sapienza. E.mail: pierluigi.deberardinis@univaq.it

Full Professor of Architectural Engineering at the Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of L'Aquila; Deputy Chancellor for Building Construction. Civil Engineer at the University of Rome La Sapienza E.mail: pierluigi.deberardinis@univaq.it

Luis Palmero Iglesias

Profesor Titular de Universidad por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura; Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Doctor por la Universitat Politècnica de València, Doctor menció internacional por la Facoltà di Architettura di Firenze, Ingeniero de Edificación por la Universidad Castilla La Mancha, Licenciado en Bellas Artes por la Universitat Politècnica de València, Especialista en Patología Edificación, Departamento de Construcciones arquitectónicas. E.mail: lpalmero@csa.upv.es

Professor in the Superior Technical Architecture School; University of Valencia, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain. PhD in the University of Valencia, PhD International in the Florence Architecture Faculty, Engineer at the University Castilla La Mancha, Graduate in the Arts at the University of Valencia, Specialist in Building pathology, Architecture Construction Department. E.mail: lpalmero@csa.upv.es

Abstract

This review aims to answer a seemingly simple yet complex question: what are the current trends in prefabricated housing?

The authors analyse a series of solutions in regard to their scope, the figurative and functional aspects and the constructive strategies employed to reach a comfortable and sustainable solution.

Said study shows how the current solutions aim to offer high standards of comfort with a design deeply informed by measures to reduce the environmental impact of both their construction and life on site, painting a picture remarkably distant from their long lost “cousins” employed in the aftermath of WWII all across Europe, or the “little boxes on the hillside” that Malvina Reynolds sang about describing the stereotypical north American suburb.

The paper ends defining an archetypical contemporary prefabricated house, a house that is designed to stay on site on the medium-term, it's made of cross laminated timber, deployed using the volumetric system, employs recycled or recyclable materials for finishing and furnishing and has an integrated photovoltaic system on the roof.

Keywords

Prefab Housing, Building Design, Sustainable Design, Review

Introduzione

In occidente la storia della prefabbricazione ebbe inizio con l'espansione coloniale della Gran Bretagna, si creò infatti in questo contesto la necessità di edificare rapidamente ma, come riporta Ryan E. Smith, la scarsa familiarità dei coloni con i materiali abbondanti nei paesi di destinazione rendeva appetibile l'utilizzo di soluzioni prodotte in Inghilterra e trasportate via mare pronte per l'assemblaggio. Tale pratica andò ad evolversi e a raffinarsi, tanto che già nella prima metà del 1800 il Manning Portable Cottage si propose come prima soluzione completa in grado di assicurare un trasporto agevole ed un rapido assemblaggio basato principalmente su connessioni meccaniche.

A seguire queste entusiastiche origini di "*architettura di frontiera*" (sia in termini applicativi che tecnologici) seguirono lunghi periodi in cui l'architettura prefabbricata ha assunto agli occhi del pubblico una connotazione negativa, come scrive Michelle Galindo nell'introduzione alla sua monografia sull'architettura prefabbricata (for many the word "prefab" conjures up the memories of post-war residential horrors) o pensando ai "little boxes on the hillside" tutti uguali e simbolo vivente e concreto dell'ipocrisia del Sogno Americano cantati da Malvina Reynolds nel 1962.

È quindi opportuno far riscoprire l'originaria accezione legata all'architettura prefabbricata e farlo tramite una rassegna di soluzioni contemporanee, figlie più dello spirito avanguardistico della Dymaxion House di Buckminster Fuller che dei sobborghi middle americani.

Con questo spirito sono stati selezionati una serie di sistemi prefabbricati a scopo abitativo progettati negli ultimi dieci anni spaziando da progetti accademici (come il CLT modular housing prototype di Taeg Nashimoto & Pegah Amini) fino a soluzioni ampiamente commercializzate (ad esempio il M.A.Di. di Renato Vidal per AreaLegno).

Metodologia

I sistemi considerati come caso studio sono stati anzitutto categorizzati secondo la loro **ubicazione** (centro città, periferia, campagna), le **problematiche climatiche** prevalenti in loco (prevalenza di surriscaldamento estivo, prevalenza di criticità invernale o problematiche equivalenti) e la **permanenza prevista in situ** (short-term, ovvero fino a 6 mesi; medium-term, ovvero tra 6 mesi e 5 anni; e long-term, ovvero più di 5 anni).

Sono quindi stati analizzati per quanto concerne il **coordinamento dimensionale** utilizzato nella loro progettazione (principalmente sono risultati in uso moduli base da 300x300mm o 1x1 ft nel caso di produzioni Nord Americane) e la **concezione tecnologica** propria del fabbricato.

La concezione tecnologica è quindi stata suddivisa in quattro aspetti fondamentali: il **materiale utilizzato** per la realizzazione degli elementi portanti; il **principio costruttivo** alla base del sistema, ovvero se il sistema consente un'aggregazione di più moduli prefabbricati in maniera mono o pluridirezionale per ottenere configurazioni aggregate; la tipologia degli **elementi costituenti l'involucro**, andando quindi a verificare la possibilità di smontare per mantenere o smaltire le singole parti; e la tipologia di **deployment** previsto per il sistema, ovvero a Panel System (tramite il trasporto in situ e l'assemblaggio di elementi bidimensionali) o a Volumetric System (tramite la consegna in situ di un modulo già assemblato).

Sono infine state valutate le **strategie per la sostenibilità** utilizzate, in particolare: le **caratteristiche dei materiali utilizzati**, valutando la biodegradabilità e la possibilità di riciclo o riuso degli stessi; la **presenza di sistemi attivi**, in particolare fotovoltaico e solare-termico integrati, nonché la presenza di un sistema di accumulo; l'appartenenza ad uno **standard energetico**, andando dall'LEH (low energy house) fino al +EB (plus energy building); e la presenza di ulteriori accorgimenti come un sistema di recupero delle acque piovane o una toilette compostabile atti a consentire **l'indipendenza dalle reti infrastrutturali** per il funzionamento dell'edificio.

Introduction

The prefabrication history in Occident began with the Great Britain colonial expansion, in fact in this context there was the need to build rapidly but, as reported by Ryan E. Smith, the lack of familiarity of the colonists with the abundant materials available in those countries made attractive the use of products manufactured in England and transported by sea ready to be assembled. This practice evolved and refined, so much that in the first half of the 1800s the Manning Portable Cottage was proposed as the first complete solution capable to ensure easy transport and rapid assembly based mainly on mechanical connections.

After these enthusiastic origins of "frontier architecture" (both in application and technological approach) there were long periods in which prefabricated architecture assumed a negative connotation in the public eye, as Michelle Galindo writes in the introduction to her monograph on prefabricated architecture (for many the word "prefab" conjures up the memories of post-war residential horrors) or thinking of the "little boxes on the hillside", all the same and a living and concrete symbol of the hypocrisy of the American Dream, sung by Malvina Reynolds in 1962.

Therefore, it is necessary to rediscover the original meaning linked to prefabricated architecture and it could be done through a review of contemporary solutions, that are derivations of the avant-garde spirit of Buckminster Fuller's Dymaxion House rather than the middle American suburbs.

With this in mind, a series of prefabricated housing systems designed in the last ten years have been selected, ranging from academic experiments (such as the CLT modular housing prototype by Taeg Nashimoto & Pegah Amini) to widely commercialized solutions (for instance, the M.A.Di. by Renato Vidal, designed for AreaLegno).

Methodology

The systems taken into account as case studies were firstly categorized according to their **location** (city centre, suburbs, countryside), the main **climatic issues** on site (prevalence of summer problems, prevalence of winter issues or equivalent relevance) and the **expected permanence on site** (short-term, i.e. up to 6 months; medium-term, i.e. between 6 months and 5 years; and long-term, i.e. more than 5 years).

Then, they were analyzed with regard to the **dimensional coordination** used in their design (mainly 300x300mm base modules, or 1x1ft in the case of North American products) and the **technological concept** of the building.

Therefore, the technological concept has been divided into four fundamental aspects: the **material used** for the construction of the load-bearing elements; the **constructive principle** behind the system, which means if the system allows an aggregation of several prefabricated modules in a mono or multidirectional way to obtain aggregate configurations; the type of **elements that constitute the building envelope**, assessing consequently the possibility to disassemble for maintenance or to dispose of the individual parts; lastly, the type of **deployment** planned for the system, that may be a Panel System (through the on-site transport and assembly of two-dimensional elements) or a Volumetric System (through the on-site delivery of an already assembled module).

Finally, the **sustainability strategies** used were evaluated with particular attention to the following aspects: the **properties of the used materials**, evaluating their biodegradability and the opportunity to recycle or reuse them; the **presence of active systems**, in particular integrated photovoltaic and solar-thermal systems as well as the presence of an accumulation system; the belonging to an **energy standard**, ranging from LEH (low energy house) up to + EB (plus energy building); the introduction of further measures, such as a rainwater recovery system or a compostable toilet, that could be able to allow the **off-grid operation** of the building.

Casi Studio

Slow Cabins Time For Two | *Xavier Leclair – Diverse località, Belgio - 2017*

Questo tipo di abitazione provvisoria è pensata per una permanenza short-term in zone rurali. La particolarità dell'offerta risiede nel fatto che la posizione attuale del modulo viene fornita a seguito della prenotazione. A livello tecnologico abbiamo una struttura realizzata in legno lamellare e MDF, a sviluppo monodirezionale, pensata per essere trasportata in configurazione assemblata tra un sito e l'altro (volumetric system). Il modulo è in grado di funzionare totalmente off-grid e si configura a livello energetico come ZNE, ovvero con un rapporto 0 tra produzione in loco e consumi.

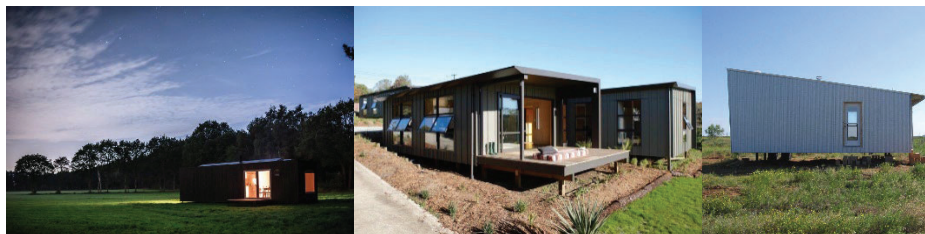


Immagine 1. Da sinistra a destra: Slow Cabins Time for Two; Studio 19 Community housing; Sustainable Cabin
Image 1. Left to right: Slow Cabins Time for Two; Studio 19 Community housing; Sustainable Cabin

Studio 19 Community housing | *Starchan group architects – Auckland, Nuova Zelanda - 2013*

Frutto di un progetto di collaborazione tra SGA e la Unitec School of Architecture è un progetto prototipo di una serie di interventi eseguiti successivamente nella zona di Auckland per il social-housing, in un'ottica di permanenza long-term. A livello tecnologico è stata rilevata una struttura realizzata tramite l'impiego di SIPs composti da OSB e CFS, a sviluppo monodirezionale, pensata per essere trasportata nei suoi componenti ed assemblata in sito (panel-system). Il modulo è pensato per enfatizzare le strategie di risparmio energetico passive tanto di rientrare nei canoni dello standard passive house.

Sustainable Cabin | *Texas Tech University – Crowell, Texas, USA - 2011*

Prototipo sviluppato dai dipartimenti di architettura, ingegneria ed arti con l'obiettivo di creare un'abitazione espandibile e con spiccate caratteristiche di sostenibilità. L'abitazione è pensata per una permanenza short-term, caratteristica enfatizzata del fatto che la stessa è realizzata con alla base un pianale per consentirne il traino. A livello tecnologico è realizzata tramite una struttura a telaio in legno massiccio a sviluppo monodirezionale montata su un pianale in acciaio predisposto per il rimorchio del modulo stesso. Il modulo è pensato per operare off-grid con un livello di comfort adeguato ad una breve permanenza e si classifica come ZNE (zero-energy house).

Petit Place - Roosoros Architecten – *Zwijndrecht, Olanda - 2018*

Abitazione il cui marketing è basato sul motto "live wherever you please" enfatizzato dall'installazione di un prototipo sotto uno dei maggiori landmark di Zwijndrecht. Questi moduli sono pensati come piccole abitazioni con permanenza in sito long-term. A livello tecnologico è realizzata con il sistema open-source wikihouse che prevede la realizzazione di strutture in MDF tagliato con macchine CNC secondo dei pattern standard per ottenere strutture di varia dimensione ad andamento monodirezionale e smontabili per il trasporto da un sito all'altro (panel-system). Il modulo è pensato per poter operare connesso alle reti di servizi cittadine ed il bilancio energetico dello stesso, grazie al fotovoltaico integrato, lo porta ad essere un plus-energy building.

KODA | *Kodasema Collective – Diverse località, Estonia – 2016*

KODA è pensato come un sistema abitativo facilmente spostabile e di rapida installazione, i moduli non hanno infatti bisogno di fondamenta ma di un semplice terreno livellato con accesso alle reti impiantistiche. I moduli sono progettati pensando ad una permanenza in sito medium-term in modo da venire incontro alla fluidità delle esigenze dell'udienza odierna. A livello tecnologico abbiamo una struttura monodirezionale e aggregabile composta da VIPs (vacuum insulated panels) in calcestruzzo armato prefabbricato assemblata in fabbrica quindi trasportata in sito (volumetric system). Il singolo modulo nella sua configurazione stand-alone con BiPV in copertura consente di garantire un bilancio energetico in surplus (plus-energy building).

Case Studies

Slow Cabins Time for Two | *Xavier Leclair – Various locations, Belgium - 2017*

This typology of temporary house is conceived for a short-term stay in rural areas. Its peculiarity lies in the fact that the current position of the module is communicated after booking it. On a technological level, there is a structure made of laminated wood and MDF, with a monodirectional development, designed to be transported in an assembled configuration from site to site (volumetric system). The module is able to guarantee a totally off-grid operativity and it is configured as ZNE from the energy point of view, that means a 0 ratio between on-site production and consumption.



Immagine 2. Da sinistra a destra: Slow Cabins Time for Two; Petit Place; KODA
Image 2. Left to right: Slow Cabins Time for Two; Petit Place; KODA

Studio 19 Community housing | *Starchan group architects – Auckland, New Zealand - 2013*

Born as the result of a collaborative project between SGA and the Unitec School of Architecture, it is a prototype of a series of interventions, that were subsequently carried out in the Auckland area for social housing, in the perspective of a long-term permanence. At a technological level, there is a structure created through the use of SIPs, composed of OSB and CFS, with a one-way development, designed to be transported in its components and assembled on site (panel-system). The module is designed to emphasize passive energy saving strategies, so much to be within the canons of the passive house standard.

Sustainable Cabin | *Texas Tech University – Crowell, Texas, USA - 2011*

This prototype was developed by the departments of architecture, engineering and arts with the aim of creating an expandable house with marked sustainability features. The house is designed for a short-term stay, a feature emphasized by the fact that it is built on a platform that allow the tow. In terms of technology, it is made by means of a solid wood frame structure with one-way development mounted on a steel platform, prepared for the towing of the module. The module is designed to operate off-grid with a level of comfort suitable for a short stay and it is classified as ZNE (zero-energy house).

Petit Place - *Roosoros Architecten – Zwijndrecht, Netherlands - 2018*

This is a house whose marketing is based on the slogan "live wherever you please", emphasized by the installation of a prototype under one of the major landmarks of Zwijndrecht. These modules are designed as small houses for a long-term stay. From the technological point of view, it is made with the wikihouse open-source system, which involves the construction of MDF structures cut with CNC machines, according to standard patterns in order to obtain structures of different sizes, with one-way development. It may be dismantled for transport from one site to another (panel-system). The module is designed to be able to operate connected to city service networks. Thanks to the integrated photovoltaic, its energy balance makes it a plus-energy building.

KODA | *Kodasema Collective – Various locations, Estonia – 2016*

KODA is designed as a housing system that may be easily moved and quickly installed. In fact, the modules do not need foundations, but a simple levelled ground with access to the grids. The modules are designed for a medium-term stay on site, in order to meet the fluidity of the needs of today's people. At the technological level, we have a monodirectional structure made of VIPs (vacuum insulated panels) in prefabricated reinforced concrete.

NYC emergency housing prototype | *Garrison Architects – Brooklyn, New York, USA - 2014*

Progetto commissariato dalla Città di New York che ha come obiettivo quello di realizzare moduli abitativi per permanenza middle-term attivabili nel giro di quindici giorni su qualsiasi tipo di terreno residuale nel tessuto cittadino. A livello tecnologico il sistema si configura come una struttura in acciaio e CFS sorretta da una serie di “scaffali” realizzati in tubolari d'acciaio a sviluppo monodirezionale. I vari moduli vengono prodotti e conservati in lotti preposti in modo da essere già pronti all'isallazione in caso di emergenza (volumetric system). L'aggregato grazie alle tecnologie applicate e all'istallazione di un sistema fotovoltaico in copertura consente di raggiungere lo standard energetico ZNE (zero-energy house).

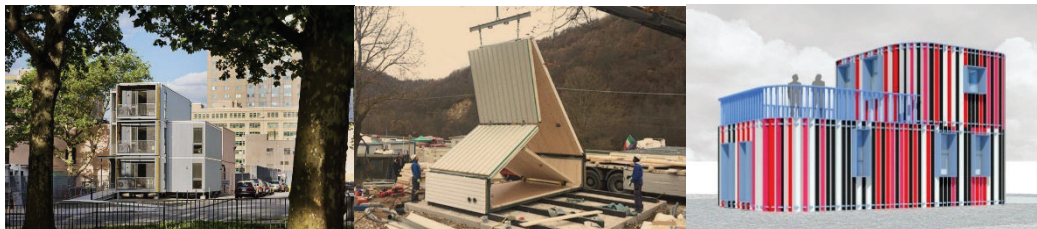


Immagine 3. Da sinistra a destra: NYC emergency housing prototype; M.A.Di.; CLT modular housing prototype
Image 3. Left to right: NYC emergency housing prototype; M.A.Di.; CLT modular housing prototype

M.A.Di. – Modulo Abitativo Dispiegabile | *Renato Vidal – Diverse località, EU - 2017*

Abitazioni di rapida istallazione e rimozione (6-7 ore con 3 operai) pensate per essere considerate beni mobili e per una permanenza in sito middle-term. A livello tecnologico sono composte da un sistema di moduli dispiegabili ed aggregabili in configurazione monodirezionale, i moduli sono realizzati tramite elementi resistenti in CLT completati da uno strato isolante in EPS ed una pannellatura in OSB su cui viene ancorato il rivestimento. Per consentire il cinematismo di apertura i pannelli sono quindi incernierati tra loro tramite delle cerniere puntuali e aggregati tramite connettori di testa in acciaio. Il sistema rappresenta quindi un ibrido tra i due approcci di panel system e volumetric system dato che l'involucro viene trasportato ripiegato ma già assemblato. Nella sua configurazione base il sistema consente di raggiungere lo standard LEH (low-energy house).

CLT modular housing prototype | *Taeg Nashimoto et al. – San Antonio, Texas, USA - 2016*

Prototipo che si propone come alternativa ai sistemi costruttivi attualmente in uso nei sobborghi statunitensi. A livello tecnologico il sistema costruttivo si discosta dal classico sistema a pannelli in CLT proponendo l'utilizzo di elementi portanti con sezione a zig-zag in modo da agevolare l'installazione impiantistica e consentire un'ottimizzazione della logistica di trasporto in sito (che avviene tramite panel system). La non direzionalità di questo sistema consente inoltre lo sviluppo pluridirezionale dello stesso. Il sistema punta a realizzare abitazioni in grado di rispettare lo standard LEH (low-energy house).

Biosphera 2.0 | *Politecnico di Torino DAD – Diverse località, Italia - 2016*

Sistema progettato per una permanenza in sito medium-term e prodotto per uno studio sul livello di comfort degli utenti di questi moduli a funzionamento off-grid (in rete è presente un blog che racconta l'esperienza degli stessi). A livello tecnologico troviamo un sistema realizzato in CLT con facciata ventilata a sviluppo monodirezionale pensato per essere trasportato in configurazione assemblata (volumetric system). La particolare attenzione prestata ai sistemi passivi consente di realizzare abitazioni che rispettino lo standard passive-house.

Skilpod #48 | *Skilpod + UAU Collective – Geel, Belgio - 2015*

Sistema nato pensando a piccoli nuclei familiari e basato sul principio di abbattimento dei costi di realizzazione ed esercizio. A livello tecnologico impiega un sistema in CLT a sviluppo monodirezionale con elementi interni prodotti secondo un approccio JIT (just in time). L'abitazione viene completata in fabbrica quindi trasportata in sito (volumetric system). L'attenzione prestata in fase di progettazione ai costi di esercizio consente di ricondurre l'abitazione allo standard ZNE (zero-energy house).

It is assembled in the factory and then transported to the site (volumetric system). The stand-alone configuration with BiPV on the roof makes it possible to guarantee a surplus energy balance (plus-energy building).

NYC emergency housing prototype | *Garrison Architects – Brooklyn, New York, USA - 2014*

A project commissioned from the City of New York, which is aimed at creating housing modules for middle-term permanence, that may be activated within fifteen days on any type of residual land in the city fabric. From the technological point of view, the system is configured as a steel and CFS structure supported by a series of "shelves" made of tubular steel with one-way development. The modules are produced and stored in designated lots to be ready for installation in case of emergency (volumetric system). Thanks to the applied technologies and the installation of a photovoltaic system on the roof, the aggregate makes it possible to achieve the ZNE (zero-energy house) energy standard.



Immagine 4. Da sinistra a destra: NYC emergency housing prototype; Biosphera 2.0; Skilpod #48
Image 4. Left to right: NYC emergency housing prototype; Biosphera 2.0; Skilpod #48

M.A.Di. – Modulo Abitativo Dispiegabile | *Renato Vidal – Various locations, EU - 2017*

These are houses that could be rapidly installed and removed (6-7 hours with 3 workers), designed to be considered movable structures and for a mid-term stay on site. On a technological level, they are composed of a system of unfoldable and combinable modules in a monodirectional configuration; the modules are made using structural CLT elements completed by an insulating layer in EPS and an OSB panel on which the finishing is anchored. The panels are then hinged together by means of point hinges to allow the opening kinematics and the connections between modules is ensured by the use of steel terminals. Therefore, this represents a hybrid system between the two approaches of panel system and volumetric system, because the envelope is transported folded, but it is already assembled. In its basic configuration, the system achieves the LEH (low-energy house) standard.

CLT modular housing prototype | *Taeg Nashimoto et al. – San Antonio, Texas, USA - 2016*

This prototype wants to represent an alternative to the construction systems currently in use in the US suburbs. The construction system technologically differs from the classic CLT panel system, because it proposes the use of load-bearing elements with a zig-zag section in order to facilitate MEP systems installation and to allow the optimization of on-site transport logistics (which takes place through panel system). Moreover, the non-directionality of this system allows its multidirectional development. The system aims to build houses that can comply with the LEH (low-energy house) standard.

Biosphera 2.0 | *Politecnico di Torino DAD – Various locations, Italy - 2016*

This system is designed for a medium-term stay on site and it is produced for a study on the comfort level of the users of these off-grid modules (there is a blog on the Net with accounts of the user's experience). At the technological level, the system is made of CLT, with a ventilated facade with a monodirectional development. It is designed to be transported in an assembled configuration (volumetric system). The particular attention paid to passive systems makes it possible to build houses that comply with the passive-house standard.

Il modulo tipo

Andando ad effettuare una sintesi sui riferimenti presentati si è quindi giunti alla definizione di quello che potrebbe dirsi un archetipo dell'abitazione prefabbricata "di frontiera" in ambito contemporaneo.

Il modulo tipo è basato su un coordinamento dimensionale M=300x300mm, con una larghezza totale media di 12M (3.6m), un'altezza media di 10M (3m) ed una lunghezza media di 30M (9m); l'area media si attesta quindi intorno ai 32 mq comprendente un blocco servizi di 10x12M (3x3.6 mq), ovvero 10.8 mq.

La permanenza in sito prevista, in linea con un clima socio-economico che vuole l'utente disponibile ad agevoli trasferimenti, è tra i 6 mesi ed i 5 anni (medium-term).

Presenta una struttura in CLT (cross laminated timber) a sviluppo monodirezionale, i cui elementi costituenti sono pannelli stratificati omogenei.

Il deployment della struttura avviene tramite il trasporto in sito di una struttura già completa e pronta per essere installata e connessa alle reti impiantistiche (volumetric system, gird connected).

Particolare attenzione è prestata non solo ai sistemi passivi per il risparmio energetico (quindi alla cura delle caratteristiche dell'involucro) ma anche alla previsione di sistemi attivi integrati, in particolare in copertura.

Infine per quanto concerne la cura degli aspetti legati al life cycle assesment della struttura si predilige l'utilizzo per finiture ed arredi di materiali riciclati o riciclabili.

SLOW CABINS™ TIME FOR TWO	34m ²	☿☿	St	PF	10 x 39M			ZNE
STUDIO 19 COMMUNITY HOUSING	57m ²	☿☿	Lt	SIP	15 x 41M			P H ZNE
SUSTAINABLE CABIN	36m ²	☿☿	St	PF	12 x 27M			ZNE
PETIT PLACE	40m ²	☿☿	Lt	WH	12 x 36M			+EB ZNE
KODA	25m ²	☿☿	Mt	VIP	12 x 23M			+EB ZNE
NYC EMERGENCY HOUSING PROT.	44m ²	☿☿	Mt	STF	10 x 37M			ZNE
MODULO ABITATIVO DISPIEGABILE	27m ²	☿☿	Mt	CLT	10 x 19M			LEH
CLT MODULAR HOUSING PROT.	23m ²	☿☿	Lt	CLT	16 x 16M			LEH
BIOSPHERA 2.0	25m ²	☿☿	Mt	CLT	8 x 36M			P H ZNE
SKILPOD #48	48m ²	☿☿	Mt	CLT	12 x 38M			ZNE
CARATTERISTICHE PREVALENTI			Mt	CLT	12 x 30M			ZNE

Immagine 5. Casi studio: Quadro Sinottico./Image 5. Case studies: Synoptic Table.

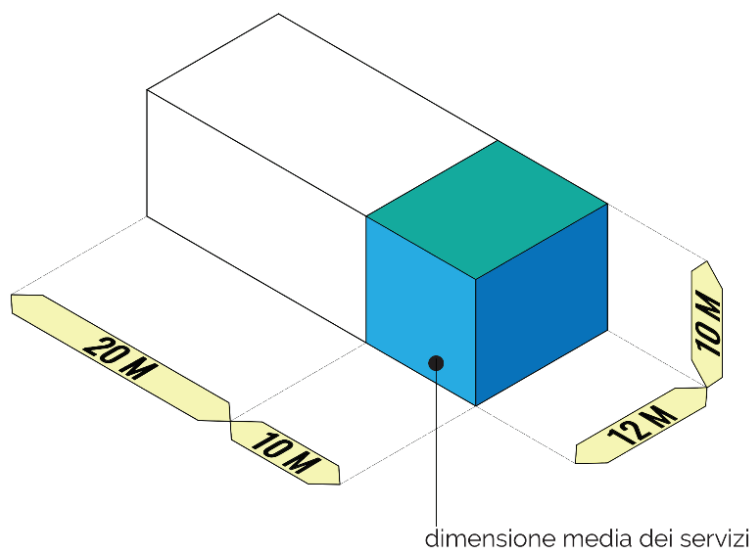


Immagine 6. Modulo Tipo./Image 6. Case studies: Standard Module.

Skilpod #48 | *Skilpod + UAU Collective – Geel, Belgium - 2015*

This system was created with small families in mind and it is based on the principle of reducing construction and operating costs. From the technological point of view, it employs a CLT structure with a monodirectional development and the internal elements are produced according to a JIT (just in time) approach. The house is assembled in the factory and then transported to the site (volumetric system). The attention paid during the design phase to operating costs allows to lead the house to the ZNE standard (zero-energy house).

The standard module

Overall, carrying out a synthesis on the references presented, it is consequently possible to come to the definition of what could be called an archetype of the "frontier" prefabricated house in the contemporary context.

The standard module is based on a dimensional coordination with module $M = 300 \times 300 \text{mm}$, with an average total width of 12M (3.6m), an average height of 10M (3m) and an average length of 30M (9m); the average area is therefore around 32 sqm with a service block of 10x12M (3x3.6 sqm), that correspond to 10.8 sqm.

The expected stay on site, in line with a socio-economic trend that wants the user to be available for easy transfers, is between 6 months and 5 years (medium-term).

It is based on a CLT structure with a monodirectional development and composed of homogeneous layered panels.

The structure deployment takes place through the on-site transport of a structure that is already complete, ready to be installed and connected to the grid (volumetric system, grid connected).

Particular attention is directed not only to passive systems for energy savings (therefore, to the care of the envelope features), but also to the provision of integrated active systems, in particular located on the roof.

Lastly, as regards the care of aspects related to the structure life cycle assessment, the use of recycled or recyclable materials for finishes and furnishings is preferred.

Conclusions

- The identified standard module represents the answer to a demand that is no longer mostly composed of large families and that is often not satisfied by the urban fabric dating back to the second half of the 20th century.
- A high quality standard is preferred (both in terms of comfort and sustainability) to the construction with larger square footage.
- The focus on the use of passive systems shows a preference towards the employment of solutions with low maintenance costs.
- The house tries to reduce its energy impact through on-site production until it also becomes a response to the energy issues of other buildings (when these houses reach a positive energy balance)

Conclusioni

- Il modulo tipo individuato rappresenta la risposta ad una domanda non più composta prevalentemente di nuclei familiari estesi e spesso non soddisfatta dal tessuto urbano concepito nella seconda metà del 900.
- Si predilige un alto standard qualitativo (sia in termini di comfort che di sostenibilità) alla realizzazione di nuclei di metratura maggiore.
- La particolare attenzione prestata ai sistemi passivi per il risparmio energetico mostra una maggior inclinazione all'adozione di soluzioni a basso impatto manutentivo.
- L'abitazione cerca di mitigare il proprio impatto energetico tramite la produzione in situ, fino a diventare essa stessa risposta al problema energetico di altri fabbricati (nel caso di abitazioni a bilancio energetico positivo).

BIBLIOGRAFIA/BIBLIOGRAPHY

- Ryan E. Smith, *“Prefab Architecture: a guide to modular design and construction”*, Jhon Wiley & Sons, Hoboken (2010): 5. ISBN 9780470275610
- Michelle Galindo, *“Contemporary prefab houses”*, Braun, Salestein (2011): 8. ISBN 9783037680667
- M. Anderson, P. Anderson, *“Prefab Prototypes: Site-Specific Design for Offsite Construction”*, Princeton Architectural Press (2007). ISBN 9781568985602.
- Landolfo R., Russo Ermolli S., *“Acciaio e sostenibilità: progetto, ricerca e sperimentazione per l'housing in cold formed-steel”*, Alinea, Firenze (2012). ISBN 9788860557285.
- Cavalieri F., Capannolo L., Di Giovanni G., De Berardinis P., *“La sperimentazione tecnologica nel progetto di un sistema prefabbricato modulare ad uso direzionale: un caso studio a L'Aquila”*, atti di Colloqui.AT.e 2020: New horizons for sustainable architecture, Edicom Edizioni, Monfalcone (2020). ISBN 97888963836941.
- Rotilio M., Pantoli L., Muttillio M., Annibaldi V., *Performance Monitoring of Wood Construction Materials by Means of Integrated Sensors*, Key Engineering Materials 792, (2018):195-199, DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.792.195, ISBN: 978-3-0357-1368-8
- De Berardinis Pierluigi, Marchionni Chiara, Rotilio Marianna, Friedman Avi. *The dry construction system on the rehabilitation of built heritage*. Open house international, vol. 41 n. 1.2016, (2016): 82-87, ISSN: 0168-2601
- De Berardinis P, Marchionni C, Rotilio M. *Dry constructive strategies in the sustainable rehabilitation of minor historical centres of Abruzzo. A case study: Navelli (Aq)*. In: Proceedings of the Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering (ACE 2013) . Singapore, 18-19 March 2013, Singapore: Global Science and Technology forum GSTF, (2013): 273-280, doi: 10.5176/2301-394X_ACE13.70

CHAPTER 6

HUMAN RESOURCES

CAPÍTULO 6 RECURSOS HUMANOS

APLICACIÓN DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LA INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO, SU ANÁLISIS Y PERCEPCIÓN DE LOS TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO

KNOWLEDGE MANAGEMENT APPLICATION IN MAINTENANCE ENGINEERING, ITS ANALYSIS AND PERCEPTION FROM MAINTENANCE TECHNICIANS

Javier Cárcel-Carrasco

Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: fracarc1@csa.upv.es

PhD. from the polytechnic university of Valencia. Full professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. E-mail: fracarc1@csa.upv.es

Aurora Martínez-Corral

Ph. D. por la Universitat Politècnica de Valencia. Profesora asociada en el departamento de Construcciones Arquitectónicas de la UPV. E-mail: aurmarcor@csa.upv.es

PhD. from the polytechnic university of Valencia. Professor in the Department of Architectural Constructions at the UPV. E-mail: aurmarcor@csa.upv.es

M^a Carmen Carnero

Ph D. Profesora titular de universidad. Departamento de organización de empresas de la UCLM. Codirectora del grupo de investigación PREDILAB. E-mail: carmen.carnero@uclm.es.

PhD. Full professor in the Department of business organisation at the UCLM. Co-director of the PREDILAB research group. E-mail: carmen.carnero@uclm.es.

José Ramón Albiol-Ibáñez

Ph. D. por la Universitat Politècnica de València. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España. Email: joalib1@csa.upv.es

Abstract

Knowledge which is based on own experience that has been acquired in troubleshooting and maintenance actions is the fundamental basis for technicians in industrial maintenance departments of companies with large physical assets, acquired after years of experience. However, this knowledge has a high tacit component and there is usually no adequate policy for managing this strategic knowledge. Therefore, in this article it is intended to obtain the perception of the groups of technicians of the maintenance departments of the companies, through qualitative studies, in order to establish the characteristics of the relationship of the strategic aspects of industrial maintenance engineering regarding the knowledge management, as well as facilitators and barriers to its application.

Key words: Knowledge management, Tacit knowledge, Industry 4.0, Large building maintenance, Industrial maintenance.

Resumen

El conocimiento que se basa en la propia experiencia adquirida en las acciones de resolución de problemas y mantenimiento es la base fundamental para los técnicos en los departamentos de mantenimiento industrial de empresas con gran activo físico, adquirido tras años de experiencia. Sin embargo, este conocimiento tiene un alto componente tácito y no normalmente no suele haber una política adecuada para gestionar este conocimiento estratégico. Por lo tanto, en este artículo se quiere obtener la percepción de los grupos de técnicos de los departamentos de mantenimiento de las empresas, a través de estudios cualitativos, con el fin de establecer las características de la relación de los aspectos estratégicos de la ingeniería de mantenimiento industrial respecto a la gestión del conocimiento, así como facilitadores y barreras para su aplicación.

Palabras claves: Gestión del conocimiento, Conocimiento tácito, Industria 4.0, Mantenimiento de grandes edificios, Mantenimiento industrial.

Introducción

Para lograr la eficiencia energética y la mejora de la confiabilidad de los procesos y producción de la empresa, es importante realizar un estudio en profundidad de las medidas aplicadas en la ingeniería de mantenimiento industrial en las empresas. Los principales indicadores de eficiencia del mantenimiento se sustentan en diversos pilares, tales como confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, seguridad, costos operativos y el factor humano, que es fundamental para la operatividad, con el cual opera el alto conocimiento tácito que generan las personas en la realización de las tareas de mantenimiento asignadas. La confiabilidad de las máquinas o sistemas requiere una alta dosis de conocimiento y experiencia y está ligada al estudio del proceso de falla, relacionando los aspectos de confiabilidad y calidad en el trabajo que realizan los departamentos de mantenimiento (IEEE, 2007., Koval, D. 2003., Wang, W. 2007., LU, Y. 2017., Cacique, J. 2007., Baeza, G. 2003) y es posible establecer nuevos indicadores que permitan estimar el nivel de seguridad de estos sistemas, en los que se describa el impacto en la infraestructura y los riesgos asociados (McGranaghan, M. 2007., Sexto, L. 2005).

Industria 4.0 generará nuevos servicios y productos, aumentando la productividad y generando nuevos puestos de trabajo cualificados en la industria. Ante esta transformación, las personas de los departamentos de mantenimiento deben contar con nuevas habilidades y competencias para trabajar en la Industria 4.0. Esto requerirá una gestión de la cualificación y el conocimiento de las empresas (Wilkesmann, M & Wilkesmann, U. 2018., LU, Y. 2017). Los departamentos de mantenimiento de las empresas operan con técnicos con alto conocimiento basado en su experiencia profesional, con un alto componente de conocimiento tácito y tradicionalmente sin conocimiento de las políticas de gestión (Isworowati, D. 2019., Cárcel-Carrasco, F.J. 2013).

Hay que tener en cuenta los factores fundamentales que determinan la fiabilidad operativa (humana y técnica) de los departamentos de mantenimiento (Altmann, C. 2006., Armendola, L. 2002., Armendola, L. 2004., Tavares, L. 2004). Las operaciones de explotación (también denominadas gestión de instalaciones) son los procesos normales que se dan en el transcurso de la producción o servicio prestado por la empresa, que implican maniobras de las instalaciones, rearme de interruptores, maniobras de puesta en marcha o parada de proceso, etc. Para ello razón, los técnicos que laboran en esta actividad necesitan componentes técnicos y de conocimiento altamente sofisticados, y una alta aplicación del factor humano para su desempeño, con un alto factor de conocimiento tácito y aunque en esta actividad, factores organizacionales, comportamiento de materiales, falla Estudiar, son ampliamente estudiados, no habitualmente de la misma forma, los procesos de gestión del conocimiento en dicha actividad, aunque en otros departamentos de la empresa (marketing, comercio, desarrollo, comunicaciones, etc.), se ha empezado a introducir como un referente más de competitividad e innovación (Bravo-ibarra, E. 2009 et al.). El punto de partida es, por tanto, la visualización de la gestión del conocimiento como recurso estratégico (Pawlowski, J & Bick, M. 2012), en cualquier enfoque dirigido al desarrollo eficiente de un departamento de mantenimiento, y por tanto de la propia empresa. Por ello, es importante definir y extraer los mecanismos de coordinación estructural, facilitadores y creación de conocimiento (Pauleen, D. 2009), que se dan en una organización de mantenimiento, provocando una mejora en sus procesos operativos (Hoelzle, K & Gemuenden, H. 2009., Cárcel-Carrasco, J. 2014), transmitiendo una mejora a lo largo la empresa y con ella una gestión de los recursos humanos hacia la consecución de una gestión del conocimiento (De Andrade, F. 2019. et al.) con finalidad útil y productiva. Este proceso de gestión del conocimiento debe ser tenido en cuenta dentro de la actividad de mantenimiento, estando compuesto básicamente por la generación, codificación, transferencia y uso del conocimiento (Martins, V. 2019. et al.). Este artículo muestra el resultado del estudio realizado entre técnicos de mantenimiento de grandes empresas, utilizando técnicas de investigación cualitativa, cuyo principal objetivo fue definir la relación de la gestión del conocimiento dentro de las actividades de mantenimiento, desde la perspectiva de los técnicos que operan en estos departamentos, visualizando los aspectos estratégicos que hacen importante la gestión del conocimiento en la ingeniería de mantenimiento, así como la extracción de las barreras y facilitadores fundamentales que estos técnicos consideran para la creación, transmisión y uso de este conocimiento estratégico.

Introduction

In order to achieve the energy efficiency and improved reliability of the processes and production regarding the company, it is important to execute in-depth study of the measures applied in the industrial maintenance engineering in the companies. The main indicators of maintenance efficiency are based on various pillars, such as reliability, availability, maintainability, safety, operating costs and the human factor, which is a fundamental one for operability, with which it operates the high tacit knowledge that is generated by people in the performance of assigned maintenance tasks. The reliability of the machines or systems requires a high dose of knowledge and experience and is linked to the study of the failure process, relating the aspects of reliability and quality in the work that maintenance departments carry out (IEEE,2007., Koval, D.2003., Wang, W.2007.,LU, Y.2017., Cacique, J. 2007., Baeza, G. 2003) and it is possible to establish new indicators that allow estimating the security level of these systems, in which describe the impact on infrastructure and the associated risks (McGranaghan, M. 2007., Sexto, L. 2005).

Industry 4.0 will generate new services and products, increasing productivity and generating new qualified jobs in the industry. Faced with this transformation, people from maintenance departments must have new skills and competencies to work in Industry 4.0. This will require a qualification and knowledge management for companies (Wilkesmann, M & Wilkesmann, U.2018.,LU, Y. 2017). Maintenance departments within companies operate with technicians with high knowledge based on their professional experiences, with a high component of tacit knowledge, and traditionally with no knowledge management policies (Isworowati,D. 2019.,Cárcel-Carrasco, F.J. 2013).

The fundamental factors that determine the operational reliability (human and technical) of the maintenance departments must be taken into account (Altmann, C. 2006.,Armendola, L. 2002., Armendola, L. 2004., Tavares, L.2004)Exploitation operations (also called facilities management) are the normal processes that occur in the course of the production or service provided by the company, which involves maneuvers of the facilities, rearming of switches, start-up maneuvers or process stop, etc. For this reason, the technicians who work in this activity need highly sophisticated technical and knowledge components, and a high implication of the human factor for their performance, with a high factor of tacit knowledge and although in this activity, organizational factors, behavior of materials, failure study, are widely studied, not usually in the same way, the knowledge management processes in such activity, although in other departments of the company (marketing, commerce, development, communications , etc.), it has begun to be introduced as another benchmark of competitiveness and innovation (Bravo-ibarra, E. 2009 et al.). The starting point is, therefore, the visualization of knowledge management as a strategic resource (Pawlowski, J & Bick, M. 2012) in any approach aimed at the efficient development of a maintenance department, and therefore of the company itself. For this reason, it is important to define and extract the mechanisms of structural coordination, facilitators and creation of knowledge (Pauleen, D.2009), which occur in a maintenance organization, causing an improvement in its operational processes (Hoelzle, K & Gemuenden, H. 2009., Cárcel-Carrasco, J. 2014), transmitting an improvement throughout the company and with it a management of human resources towards the achievement of knowledge management (De Andrade, F. 2019. et al.) with a useful and productive purpose. This knowledge management process must be taken into account within the maintenance activity, being basically composed by the generation, coding, transfer and use of knowledge (Martins, V. 2019. et al). This article shows the result of the study carried out among maintenance technicians of large companies, using qualitative research techniques, whose main objective was to define the relationship of knowledge management within maintenance activities, from the perspective of the technicians which operate in these departments, visualizing the strategic aspects that make knowledge management important in maintenance engineering, as well as extracting the fundamental barriers and facilitators that these technicians consider for the creation, transmission and use of this strategic knowledge.

Materiales

Diversos métodos e instrumentos han sido empleados en el presente trabajo, sin embargo, cabe señalar algunos de ellos, como es el caso de la entrevista semiestructurada y el análisis por teoría fundamentada, con esta teoría (dentro de las técnicas cualitativas) (Charmaz, K. 2006., Glaser, B. 1967) la cual se ha utilizado en el análisis de datos de investigación. Para ello se ha seguido el proceso indicado por Charmaz (Charmaz, K. 2006): a) Recolección de datos mediante muestreo teórico. b) Codificación inicial. c) Codificación orientada. d) Elevación de los códigos a categorías provisionales mediante codificación teórica. e) Redacción de los resultados obtenidos. La principal característica de la investigación en teoría fundamentada es a través del muestreo teórico, seleccionando casos de acuerdo con su potencial, con el fin de obtener nuevos puntos de vista y refinamiento del objeto de estudio (Pace, S. 2004). Por otro lado, la observación directa y los documentos de la empresa relacionados con el fenómeno del estudio son los principales métodos de recopilación de datos en esta investigación.

Las fases de esta investigación para alcanzar los objetivos definidos se pueden resumir con las siguientes características:

a) En primer lugar, utilizando la teoría fundamentada, se entrevistó a 76 personas pertenecientes al personal de mantenimiento operacional de las diferentes secciones (Tabla 1). Paralelamente, se utilizó la técnica de observación directa, durante esta fase de investigación, con acceso a las instalaciones, documentación y equipamiento de la fábrica por parte del investigador, las características reales del trabajo realizado en mantenimiento, el estudio de sus relaciones internas., las características de la información utilizada por los equipos de mantenimiento, dando al investigador una visión de los fenómenos en el entorno de investigación. Con ello, se logra un examen atento de los diferentes aspectos de un fenómeno con el fin de estudiar sus características y comportamiento dentro del entorno en el que se desarrolla.

Tabla 1. Características de la muestra de técnicos entrevistados. Table 1. Characteristics of the simple of technicians interviewed.

CATEGORÍA LABORAL <i>LABOR CATEGORY</i>	EXPERIENCIA LABORAL (MENOS DE 5 AÑOS) <i>WORK EXPERIENCE (UNDER 5 YEARS OLD)</i>	EXPERIENCIA LABORAL (ENTRE 10 Y 15 AÑOS) <i>WORK EXPERIENCE (BETWEEN 10 AND 15 YEARS)</i>	EXPERIENCIA LABORAL (>15 AÑOS) <i>WORK EXPERIENCE (> 15 YEARS)</i>
TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO OPERATIVO(MECÁNICOS)OPERATIONAL MAINTENANCE TECHNICIANS. (MECHANICS)	6	12	9
TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO OPERATIVO (SISTEMAS ELÉCTRICOS) OPERATIONAL MAINTENANCE TECHNICIANS. (ELECTRICAL-SYSTEMS)	10	9	7
TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO OPERATIVO(PRODUCCIÓN)OPERATIONAL MAINTENANCE TECHNICIANS. (PRODUCTION)	9	8	6
SUBTOTAL	25	29	22
TOTAL	76		

b) Con el fin de profundizar en la percepción de la gestión del conocimiento sobre las acciones estratégicas de la ingeniería de mantenimiento industrial (confiabilidad, operación, eficiencia energética y mantenibilidad) por parte de los técnicos de mantenimiento, y accediendo a ella de manera masiva a un mayor número de miembros del personal operativo. Se pasó una encuesta a todo el personal operativo (174 técnicos) con el fin de identificar y cuantificar su percepción, entre el conocimiento propio que utilizan (tácito) y el conocimiento que perciben se documenta en un De forma útil y precisa por parte de la organización (explícita), factores que intervienen en el desempeño de sus funciones.

Materials

Various methods and instruments have been used in the current paper, however it is remarkable to point some of them, as it is the case of the semi-structured interview and analysis by grounded theory, with this theory (within qualitative techniques) (Charmaz, K. 2006., Glaser, B. 1967) which has been used in the analysis of research data. For this, the process indicated by Charmaz (Charmaz, K. 2006) has been followed: a) Data collection through theoretical sampling. b) Initial coding. c) Oriented coding. d) Elevation of the codes to provisional categories by theoretical coding. e) Writing the obtained results. The main characteristic of grounded theory research is through theoretical sampling, selecting cases according to their potential, in order to obtain new points of view and refinement of the object of study (Pace, S. 2004). On the other hand, direct observation and company documents related to the study phenomenon are the main data collection methods in this investigation.

The phases of this research to achieve the defined objectives can be summarized with the following characteristics:

- a) Firstly, using grounded theory, 76 people belonging to operational maintenance personnel from the different sections were interviewed (Table 1). At the same time, the direct observation technique was used, during this research phase, with access to the facilities, documentation and equipment of the factory by the researcher, the real characteristics of the work carried out in maintenance, the study of their internal relations, the characteristics of the information used by the maintenance teams, giving the researcher an insight into the phenomena in the research environment. With this, an attentive examination of the different aspects of a phenomenon is achieved in order to study its characteristics and behavior within the environment in which it develops.

Tabla 1. Características de la muestra de técnicos entrevistados. Table 1. Characteristics of the simple of technicians interviewed..

CATEGORÍA LABORAL <i>LABOR CATEGORY</i>	EXPERIENCIA LABORAL (MENOS DE 5 AÑOS) <i>WORK EXPERIENCE (UNDER 5 YEARS OLD)</i>	EXPERIENCIA LABORAL (ENTRE 10 Y 15 AÑOS) <i>WORK EXPERIENCE (BETWEEN 10 AND 15 YEARS)</i>	EXPERIENCIA LABORAL (>15 AÑOS) <i>WORK EXPERIENCE (> 15 YEARS)</i>
TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO OPERATIVO(MECÁNICOS) <i>OPERATIONAL MAINTENANCE TECHNICIANS. (MECHANICS)</i>	6	12	9
TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO OPERATIVO (SISTEMAS ELÉCTRICOS) <i>OPERATIONAL MAINTENANCE TECHNICIANS. (ELECTRICAL-SYSTEMS)</i>	10	9	7
TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO OPERATIVO(PRODUCCIÓN) <i>OPERATIONAL MAINTENANCE TECHNICIANS. (PRODUCTION)</i>	9	8	6
SUBTOTAL	25	29	22
TOTAL	76		

- b) In order to deepening the perception of knowledge management on the strategic actions of industrial maintenance engineering (reliability, operation, energy efficiency and maintainability) by maintenance technicians, and accessing it in a massive way to a greater number of members of the operative staff. A survey was passed to all the operative personnel (174 technicians) in order to identify and quantify their perception, among the own knowledge they use (tacit) and the knowledge that they perceive is documented in a useful and precise way by the organization (explicit), factors involved in the performance of their functions.

Resultados

En este apartado, los diferentes elementos detectados en la investigación cualitativa por la percepción de los técnicos de mantenimiento sobre la gestión del conocimiento en la actividad de la empresa, en relación a las acciones estratégicas de mantenimiento, la implicación de los operadores, así como la percepción cuantitativa que tienen entre su conocimiento propio (tácito) y explícito que se registra en la empresa. Se han analizado las acciones más importantes como es el caso de la mantenibilidad, confiabilidad, eficiencia energética junto con la operación o explotación. Estas acciones pueden mejorar la gestión del conocimiento industrial ya que son acciones estratégicas de mantenimiento.

Por otro lado, cabe mencionar la implicación de los operadores ya que es otro facilitador clave en la sostenibilidad en un proyecto de gestión del conocimiento de mantenimiento, y lo cual ha sido verificado en esta investigación. Deben estar plenamente involucrados como fuente fundamental de conocimiento estratégico y de las mejoras desarrolladas, así como base de ideas y parte del proceso de mejora. Sin la participación e involucramiento de los operadores, el proyecto de gestión del conocimiento está condenado al fracaso, ya que debe, como principio, involucrar a todos los miembros de la organización. Conseguir la implicación de los operadores requiere formación, apoyo y reconocimiento explícito por parte de los responsables de gestión y mantenimiento de la empresa. Una gran parte de los entrevistados destaca muy positivamente la introducción de incentivos materiales basados en las mejoras logradas por el trabajo, tanto en grupo como individualmente. Al iniciar el proyecto de QA es recomendable contar con incentivos, pero una vez asimilada la cultura, consideran suficiente con el reconocimiento expreso por parte de la empresa. A nivel individual, la motivación personal y la oportunidad de aprender facilitan la generación de conocimiento que, compartido con otros miembros del grupo, da lugar al conocimiento organizacional.

Junto con la implicación, también es importante la percepción cuantitativa de los operadores de mantenimiento. Cuando se pretende estimar la percepción entre los conocimientos en base a la propia experiencia de los operadores de mantenimiento, en relación con los conocimientos que perciben como explícitos en la organización, se pasó un cuestionario a todo el personal operativo de mantenimiento de la organización (174 técnicos de mantenimiento), de cuatro ítems, subdivididos entre las dos percepciones (figura 1). Por otro lado, si tenemos en cuenta la relación entre el conocimiento estratégico propio y el conocimiento explícito proporcionado por la organización de mantenimiento se puede ver el comportamiento de diversas acciones, como se puede observar en la Figura 2.

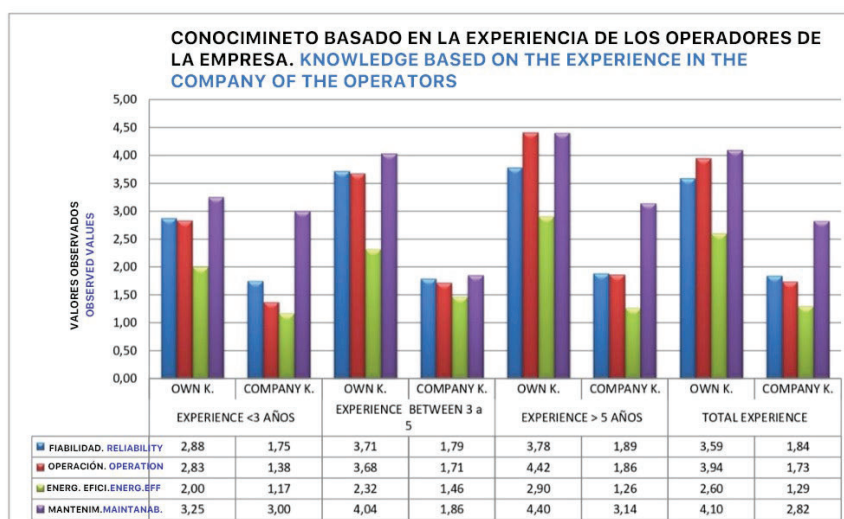


Figura 1. Gráfico de la relación entre conocimiento propio Vs conocimiento registrado en la empresa respecto a las actividades estratégicas del departamento de mantenimiento (Confiabilidad, Operación, Eficiencia Energética, Mantenibilidad) según la percepción de los técnicos de mantenimiento. Figure 1. Graph of the relationship between own knowledge Vs knowledge registered in the company regarding to the strategic activities of the maintenance department (Reliability, Operation, Energy Efficiency, Maintainability) according to the perception of maintenance technicians.

Results

In this section, the different elements detected in qualitative research by the perception of maintenance technicians regarding knowledge management in the activity of the company, in relation to strategic maintenance actions, the involvement of operators, as well as the quantitative perception that they have between their own knowledge (tacit) and explicit which is registered in the company. Most important actions have been analyzed as it the case of maintainability, reliability, energy efficiency along with operation pr exploitation. These actions can improve the industrial knowledge management as they are strategic maintenance actions.

On the other hand, it is worth mentioning the involvement of the operators as it is another key facilitator in sustainability in a maintenance knowledge management project, and which has been verified in this research. They must be fully involved as a fundamental source of strategic knowledge and of the improvements developed, as well as the base of ideas and part of the improvement process. Without the participation and involvement of operators, the knowledge management project is doomed to failure, since it must, as a principle, involve all members of the organization. To get the involvement of the operators requires training, support and explicit recognition by the company management and maintenance managers. A large part of the interviewees remarks a very positive the introduction of material incentives based on the improvements achieved by the work, both in groups and individually. When starting the QA project, it is advisable to have incentives, but once the culture has been assimilated, they consider sufficient with the express recognition by the company. At the individual level, personal motivation and the opportunity to learn facilitate the generation of knowledge which shared with other members of the group, gives rise to organizational knowledge.

Along with the involvement it is also important the quantitative perception of maintenance operators. When it is intended to estimate the perception between the knowledge based on the own experience of the maintenance operators, in relation to the knowledge that they perceive to be explicit in the organization, a questionnaire was passed to all the maintenance operating personnel of the organization (174 maintenance technicians), of four items, subdivided between the two perceptions (figure 1). On the other hand, if we take into account the relation between own strategic knowledge and explicit knowledge provided by the maintenance organization it can be seen the behavior of various actions, as it can be observed in Figure 2.

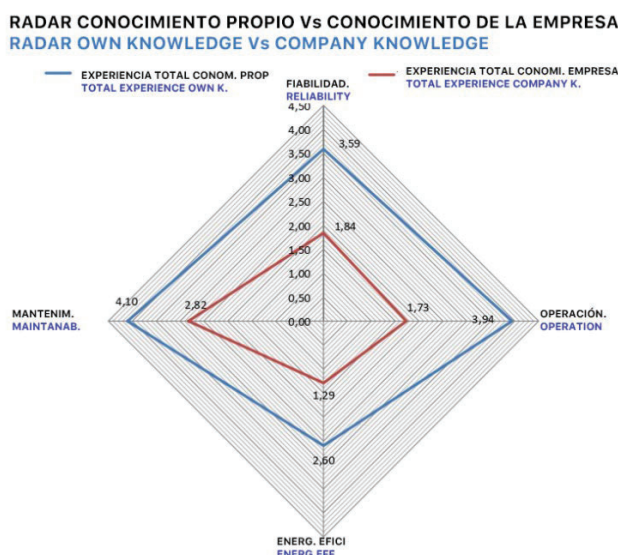


Figura 2. Gráfico de la relación entre el conocimiento propio de los técnicos en relación con el conocimiento explícito en la empresa. Figure 2. Graph of the relationship between the technicians' own knowledge in relation to the explicit knowledge in the company.

Figure 2 shows a radar-type graph, where it can be seen, according to the study, the comparison between your own strategic knowledge, in contrast to that explicitly provided by the maintenance organization at the perception of maintenance technicians.

Discusión

En el presente trabajo se han estudiado diversas barreras que resultan fundamentales para la comprensión del tema para la adecuada gestión del conocimiento en la actividad de mantenimiento de acuerdo a la percepción de los técnicos de estos departamentos, son la limitada disponibilidad de tiempo para documentar adecuadamente importantes acciones, las barreras culturales con una cultura basada en el “conocimiento propio”, no compartido, especialmente en los técnicos operativos, además de conseguir la plena implicación del personal.

Por otro lado, se ha identificado el uso masivo de mecanismos informales de transferencia de conocimiento, lo que significa que la información se encuentra en "islas" dentro de la propia organización. Está presente el gran volumen de conocimiento tácito que manejan los operadores, que es la forma fundamental de operar, frente a la información o conocimiento explícito de la organización (Figura 3).

Este estudio confirma la importancia que puede tener una adecuada gestión del conocimiento sobre las actividades estratégicas fundamentales de mantenimiento confirmadas por todo el personal entrevistado (confiabilidad, mantenibilidad, eficiencia energética y operación / explotación). Los técnicos de mantenimiento consideran que la motivación personal y la oportunidad de aprender facilitan la generación de conocimiento que, al ser compartido con otros miembros de la empresa, da lugar al conocimiento organizacional, el cual se intensifica con una cultura organizacional abierta. Los participantes en el estudio consideran que la posibilidad de aplicar sus conocimientos en las actividades de la organización los motiva en el autoaprendizaje, aprendiendo nuevas herramientas y creando nuevas formas de desarrollar diferentes actividades. Cuando esta motivación personal se incrementa al saber que sus opiniones y sugerencias para adquirir conocimientos externos se pueden tener en cuenta, esto mejora la transferencia de conocimiento.

Conclusiones

En ingeniería de mantenimiento industrial se requiere un personal con profundos conocimientos técnicos, y que tenga un alto componente de conocimiento tácito adquirido a través de años de experiencia laboral. Los principales aportes de la investigación que se presentan en este artículo y permiten ampliar el conocimiento sobre la gestión del conocimiento en la actividad de mantenimiento, son:

- Se confirman los principales aspectos estratégicos del mantenimiento que pueden incrementar su eficiencia mediante la adopción de un modelo de gestión del conocimiento.
- Se constata el alto nivel de conocimiento tácito utilizado en esta actividad, normalmente basado en la alta experiencia de los operadores requeridos, y que requiere de altos tiempos de involucramiento del nuevo personal.

Se detecta un mayor uso de las reuniones informales como medio de generación y transferencia de conocimiento, especialmente entre grupos de técnicos operativos, con una cultura organizacional inferior a la de los gerentes o gerentes de mantenimiento. Se ha identificado el uso masivo de mecanismos informales de transferencia de conocimiento, lo que significa que la información se encuentra en “islas” dentro de la propia organización.

Discussion

In the current paper, various barriers which are fundamental in order to understand the topic have been studied for the adequate management of knowledge in the maintenance activity according to the perception of the technicians of these departments, are the limited availability of time to properly document important actions, the cultural barriers with a culture based on “own knowledge”, not shared, especially in the operational technicians, as well as getting the full involvement of the staff.

On the other hand, the massive use of informal knowledge transfer mechanisms has been identified, which means that the information is found on "islands" within the organization itself. The large volume of tacit knowledge handled by the operators is present, which is the fundamental way of operating, compared to the explicit information or knowledge of the organization (Figure 3).

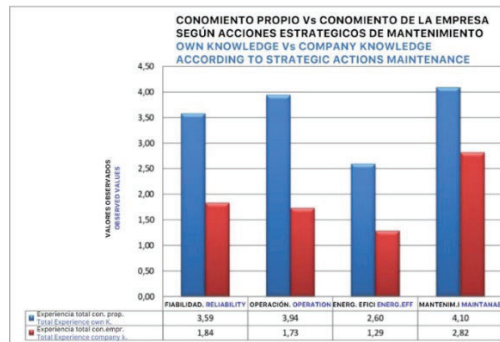


Figura 3. Gráfico de la relación entre el conocimiento propio de los técnicos en relación con el conocimiento explícito en la empresa en base a los aspectos estratégicos del mantenimiento. Figure 3. Graph of the relationship between the technicians' own knowledge in relation to the explicit knowledge in the company based on the strategic aspects of maintenance.

This study confirms the importance that adequate knowledge management can have on the fundamental strategic maintenance activities confirmed by all the interviewed personnel (reliability, maintainability, energy efficiency and operation / exploitation). Maintenance technicians consider that personal motivation and the opportunity to learn facilitate the generation of knowledge that, when shared with other members of the company, gives rise to organizational knowledge, which is intensified with an open organizational culture. The participants in the study consider that the possibility of applying their knowledge in the activities of the organization motivates them in self-learning, learning new tools and creating new ways of developing different activities. When this personal motivation is increased by knowing that their opinions and suggestions to acquire external knowledge can be taken into account, this improves the knowledge transference.

Conclusions

In industrial maintenance engineering you require a staff with deep technical knowledge, and which have a high component of tacit knowledge acquired through years of work experience. The main contributions of the research that are presented in this article and allow to extend the understanding on the knowledge management in the maintenance activity, are:

- The main strategic aspects of maintenance that can increase its efficiency are confirmed by adopting a knowledge management model.
- The high level of tacit knowledge used in this activity is confirmed, normally based on the high experience of the operators required, and which requires high engagement times in the new personnel.

A greater use of informal meetings is detected as a means of generating and transferring knowledge, especially among groups of operational technicians, with a lower organizational culture than the managers or maintenance managers. The massive use of informal knowledge transfer mechanisms has been identified, which means that the information is found on “islands” within the organization itself.

Acknowledgment: This work has been conducted within the framework of the CONDAP project "Digital skills for workplace mentors in construction sector apprenticeships" funded by the European Commission within the Key Action 2: Cooperation for innovation and the exchange of good practices, reference number 2018-1-UK01-KA202-048122

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Altmann, C. El Análisis de Causa Raíz, como herramienta en la mejora de la Confiabilidad. 2do Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad 16, 17 y 18 de Agosto de 2006. Montevideo – Uruguay.
- Argote, L.; Ingram, P. Knowledge transfer: A basis for competitive advantage in firms. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 82(1): pp. 150-169, 2000.
- Armendola, L. Estrategias y Técnicas en la Dirección y Gestión de Proyectos. “Project Management” Edición Prentice Hall, 2004.
- Armendola, L. Modelos mixtos de Confiabilidad Project Management. Edición Prentice Hall, 2002.
- Baeza, G.; Rodríguez, P.; Hernández, J. Evaluación de confiabilidad de sistemas de distribución eléctrica en desregulación. *Revista Facultad de Ingeniería, Chile*, Vol. 11 N°1, 2003, pp. 33-39.
- Bravo-Ibarra, E.; Herrera, L. Capacidad de innovación y configuración de recursos organizativos. *Intangible capital*, 5(3): pp. 301-320, 2009.
- Cacicque, J. Diseño de un programa para calcular la confiabilidad en un sistema de distribución de energía eléctrica. UNEXPO. Venezuela, 2007. Pp. 138.
- Cárcel Carrasco, F. J. “La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial: Investigación sobre la incidencia en sus actividades estratégicas”. *Omnia Science*, 2014. ISSN 978-84-941872-7-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.3926/oms.197>.
- Cárcel-Carrasco, F. J.; Rodríguez-Mendez, M. "Industrial maintenance and tacit knowledge: An introduction about its incidence". *DYNA Management*. January-December. 2013. 1. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/MN5857>.
- Cárcel-Carrasco, Javier, José-Antonio Cárcel-Carrasco, and Elisa Peñalvo-López. "Factors in the Relationship between Maintenance Engineering and Knowledge Management." *Applied Sciences*. 10.8. 2020. 2810.
- Charmaz, K. *Constructing grounded theory. A practical guide through qualitative analysis* SAGE, London, 2006.
- Claver, E.; Zaragoza, P. La dirección de recursos humanos en las organizaciones inteligentes. Una evidencia empírica desde la dirección del conocimiento. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 13(2): pp. 55-73, 2007.
- De Andrade, F. G., Araújo, C. K. C., Basso, S., Przybysz, A. L., & Francisco, A. C.. *The Perception of Knowledge Management by Small and Medium-Sized IT Companies, Campos Gerais, Brazil*. International Joint conference on Industrial Engineering and Operations Management. Springer, Cham, 2019. p. 522-531.
- Glaser, B. G.; Strauss, A. L. *The discovery of grounded theory* Aldine de Gruyter, New York, 1967.
- Griffiths, P. and Remenyi, D. “Aligning Knowledge Management with Competitive Strategy: A Framework.” *The Electronic Journal of Knowledge Management*, 2008, Volume 6 Issue 2, pp. 125 - 134, available online at www.ejkm.com.
- Hoelzle, K.; Gemuenden, H. G. Cultural vs. structural aspects of Open Innovation – How to implement Open Innovation. TUHH User and Open Innovation Workshop 2009. University of Hamburg. Germany.
- IEEE Std 493-2007. IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems. Approved 7 February 2007. IEEE-SA Standards Board.
- Isworowati, D. A., et al. Knowledge Management System for Maintenance Activity: Case Study at the Maintenance Department of XYZ Corporation. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). IEEE, pp. 139-143. 2019.
- Koval, D.; Zhang, X.; Prost, J.; Coyle, T.; Arno, R.; Hale, R. Reliability methodologies applied to the IEEE Gold Book standard network, *IEEE Industry Applications Magazine*, Vol. 9, no.1, pp. 32-41. Jan 2003
- LU, Yang. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 2017, vol. 6, p. 1-10
- LU, Yang. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 2017, vol. 6, pp. 1-10.
- Martins, V. W. B., Rampasso, I. S., Anholon, R., Quelhas, O. L. G., & Leal Filho, W.. Knowledge management in the context of sustainability: Literature review and opportunities for future research. *Journal of cleaner production*, 2019, vol. 229, p. 489-500.
- McGranaghan, M. Quantifying Reliability and Service Quality for Distribution Systems. *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. 43, pp. 188-195, Jan/Feb. 2007.
- Nisar, T. M., Prabhakar, G., & Strakova, L.. Social media information benefits, knowledge management and smart organizations. *Journal of Business Research*, 2019, vol. 94, p. 264-272.
- Nonaka, I.; Takeuchi, H. *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. New York. Oxford University Press, 1995.
- Pace, S. A grounded theory of the flow experiences of Web users. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2004, Vol. 60, n°. 3, pp. 327-363.
- Pauleen, D. Personal knowledge management: putting the “person” back into the knowledge equation. *Online Information Review*, 33(2): 2009; pp.221–224.
- Pawlowski, J and Bick, M. The Global Knowledge Management Framework: Towards a Theory for Knowledge Management in Globally Distributed Settings. *The Electronic Journal of Knowledge Management*, 2012, Volume 10 Issue 1 (pp.92-108 available online at www.ejkm.com.)
- Sexto, L. Confiabilidad integral del activo. Seminario internacional de mantenimiento celebrado en Perú-Arequipa-Tecsup del 23-25 de febrero de 2005.
- Strauss, A.; Corbin, J. L. *Bases de la investigación cualitativa*, U. Antioquia, 2ª ed, 1998.
- Tavares L. *Administración moderna de Mantenimiento*. Editorial Interamericana S.A, 2004.
- Wang, W.; Loman, J.; Arno, R.; Vassiliou, P.; Furlong, E.; Ogden, D. Reliability block diagram simulation techniques applied to the IEEE std. 493 Standard Network. *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. 40, pp. 887-955, May/June. 2004.
- Wilkesmann, M. and Wilkesmann, U. "Industry 4.0 – organizing routines or innovations?", *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, 2018, Vol. 48 No. 2, pp. 238-254. <https://doi.org/10.1108/VJKMS-04-2017-0019>

REALIDAD Y PROBLEMÁTICA EN ASENTAMIENTOS INFORMALES EN AMÉRICA LATINA

REALITY AND PROBLEMS IN INFORMAL SETTLEMENTS IN LATIN AMERICA

Mirian Guillén Vivas

*Arquitecta, Profesora investigadora de la Universidad San Gregorio de Portoviejo, Manabí, Ecuador.
Architect, Research Professor, San Gregorio of Portoviejo University, Manabí, Ecuador.*

Fernando Cos-Gayón López

*Dr. Arquitecto Técnico y Arquitecto, Director Cátedra Observatorio Inmobiliario, Universitat Politècnica València, España
PhD. Building Engineer and Architect, Director Real Estate Observatory Chair, Polytechnic University of Valencia, Spain*

Resumen

Las ciudades son el resultado de interacciones políticas sociales, religiosas, culturales, económicas, etc. y es a través de ellas que se desarrolla el modo de vida de los asentamientos humanos (Ayala Garcia & Hernandez Suarez, 2017). Más de 1.6 billones de personas viven en asentamientos informales, (UN-Habitat, 2021) y se espera un incremento de más del doble en las próximas tres décadas si no se toman las medidas necesarias (UN-Habitat, 2004).

Muchos habitantes de los asentamientos informales son conscientes del impacto ambiental de su forma de vida; sin embargo, al parecer es más fuerte la necesidad de tener sus viviendas o lotes, servicios, o reconocimiento como parte de la ciudad, que mejorar su relación con la naturaleza (Salazar & Cuvi, 2016). No obstante, si los Municipios se encargaran de planificar los asentamientos se podría reducir el impacto, tener mayor resiliencia y adaptarse a los cambios. En cuanto a la construcción de hábitats de calidad, Harvey (2013) advierte que las ciudades rebeldes necesitan cambiar el concepto humano de la naturaleza y la interacción material con ella, porque al hacerlo de otra forma se continúa con el modelo del neoliberalismo o capitalismo, muy común en ciudades contemporáneas a nivel mundial. Esta idea parece coincidir con la visión de Swyngedouw (2011) sobre la naturaleza como una construcción social. En suma, las dinámicas urbanas que permiten la configuración de los asentamientos informales tienen repercusiones globales y, por tanto, merecen atención científica y política de la comunidad internacional.

Adicionalmente, hasta la actualidad, los asentamientos informales han sido estudiados desde una perspectiva cualitativa mediante métodos etnográficos y antropológicos, sin considerar la utilización de herramientas de inteligencia artificial y de 'ciudades inteligentes', por lo tanto, el desafío será traer la práctica social al modelo matemático para facilitar la toma de decisiones a los diseñadores de políticas públicas y a los residentes de asentamientos informales.

Palabras Clave

Asentamientos Irregulares, Tugurios, Desarrollo Urbano, Sostenibilidad, Política de Vivienda

Abstract

Cities are the result of political, social, religious, cultural, economic interactions, etc. and it is through them that the way of life of human settlements is developed (Ayala Garcia & Hernandez Suarez, 2017). More than 1.6 billion people live in informal settlements (UN-Habitat, 2021) and it is expected to more than double in the next three decades if the necessary measures are not taken (UN-Habitat, 2004).

Many slum inhabitants are aware of the environmental impact of their way of life; however, it seems that the need to have their homes or lots, services, or recognition as part of the city is stronger than improving their relationship with nature (Salazar & Cuvi, 2016). However, if the Municipalities oversaw planning the settlements, the impact could be reduced, having greater resilience and adapting to changes. Regarding the construction of quality habitats, Harvey (2013) warns that rebellious cities need to change the human concept of nature and material interaction with it, because doing it in another way continues with the model of neoliberalism or capitalism, very common in contemporary cities worldwide. This idea seems to coincide with the vision of Swyngedouw (2011) about nature as a social construction. In short, the urban dynamics that allow the configuration of informal settlements have global repercussions and, therefore, deserve scientific and political attention from the international community.

Additionally, until now, informal settlements have been studied from a qualitative perspective through ethnographic and anthropological methods, without considering the use of artificial intelligence tools and 'smart cities', consequently, the challenge will be to bring social practice to the mathematical model to facilitate decision making for public policy designers and residents of informal settlements.

Keywords

Irregular Settlements, Slums, Urban Development, Sustainability, Housing Policy

Introducción

Los asentamientos informales han sido un fenómeno en crecimiento en los últimos 50 años (Delgado Blasco et al., 2020; Pels & Sheth, 2018) que ningún gobierno de los países en vías de desarrollo ha logrado controlar ni transformar en espacios urbanos convencionales. La problemática de los asentamientos informales no se ha abordado a través de métodos cuantitativos predictivos, utilizando metadatos ni alternativas de modelación matemática, lo que podría ayudar a los diseñadores de políticas públicas y tomadores de decisiones con la comprensión de la situación para definir decisiones más efectivas, que permitan frenar la expansión desordenada de los asentamientos.

En las siguientes líneas se lleva a cabo una revisión bibliográfica que aborda el desafío que suponen los asentamientos informales a escala global así como los resultados de las políticas aplicadas para su abordaje, incluyendo la conceptualización y clasificación de estos. El prisma desde el cual se revisa la literatura es el continuum espacio/territorio, que para este estudio, se enfoca en la transformación del espacio en forma de asentamientos informales. Además, se revisan las políticas públicas planteadas a escala global para abordar este fenómeno en relación con los objetivos de desarrollo sostenible. Finalmente, se analizará desde la perspectiva de la modelación matemática cómo se podrían afrontar las dinámicas que surgen de los asentamientos informales, que hasta ahora han sido estudiados únicamente con herramientas cualitativas.

Introduction

Informal settlements have been a growing phenomenon in the last 50 years (Delgado Blasco et al., 2020; Pels & Sheth, 2018) that no government in developing countries has been able to control or transform into conventional urban spaces. The problem of informal settlements has not been addressed through predictive quantitative methods, using metadata or mathematical modeling alternatives, which could help public policy designers and decision makers with an understanding of the situation to define more effective decisions, that allow to stop the disorderly expansion of the settlements.

In the following lines, a bibliographic review is conducted to discuss the challenges that informal settlements pose on a global scale as well as the results of the policies applied to address them, including their conceptualization and classification. The literature is reviewed from the space/territory continuum prism, which for this study focuses on the transformation of space in the form of informal settlements. In addition, the public policies proposed on a global scale are reviewed to explore this phenomenon in relation to the objectives of sustainable development. Finally, it will be analyzed from the perspective of mathematical modeling how the dynamics that arise from informal settlements, which until now have been studied only with qualitative tools.

Metodología

Este trabajo tiene como objetivo una aproximación a la evolución y las características generales presentes en la producción científica sobre los asentamientos informales en América Latina. De esta manera, se logrará una mejor comprensión de la delimitación del conocimiento disponible actualmente alrededor de la temática propuesta, teniendo mayor precisión en las perspectivas metodológicas y conceptuales planteadas.

Para alcanzar este objetivo se parte de una revisión bibliográfica en las bases de datos de *Web of Science* y *Scopus* orientada a obtener descripciones del contexto. Se llevó a cabo un análisis de los contenidos dispuestos en las principales bases de datos científicas con la finalidad de conocer la evolución que ha tenido el tema propuesto desde el punto de vista histórico y científico; determinar las zonas geográficas y su afectación con relación al tema; y analizar las políticas

propuestas para la resolución de la problemática. La búsqueda se realizó sin restricciones temporales, con el fin de abarcar el análisis histórico sobre el tema.

Methodology

This study aims to describe the evolution and the general characteristics of informal settlements in Latin America, as reported in the literature. More specifically, the study seeks a better understanding of the available knowledge on informal settlements and identify the methodological and conceptual perspectives that have configured the state-of-the-art.

A literature review is conducted in databases Web of Science and Scopus to achieve descriptions and analysis for the evolution of informal settlements in Latin America; determine the geographical areas and their affectation in relation to the issue; and analyze the prevalent policies proposed to address the problem. The search was carried out without time restrictions, to cover the historical analysis on the subject.

Resultados

Salazar & Cuvi (2016) sostienen que los asentamientos informales son barrios o conjuntos de viviendas inicialmente precarias, construidos a través de la invasión de terrenos públicos o privados, de lotizaciones del mercado informal promovidos por especuladores inmobiliarios, lotizadores informales (conocidos también como traficantes de tierras), políticos barriales, locales o nacionales, principalmente en los contornos de la trama urbana con mayor consolidación. Los asentamientos informales han sido nombrados de distintas formas a escala mundial: favela, callampa, barriada, villa miseria, toma, tugurio, arrabal, chacarita, cantegril, urbanización pirata, colonia, etc. (Un-Habitat, 2003; Mena, 2010). También, como barrios periféricos, barrios populares, invasiones y, en los últimos años, como asentamientos informales o irregulares. El término utilizado en inglés inicialmente era '*slums*' aunque después fue considerado peyorativo (Zárate, 2019) y, tomando en cuenta el esfuerzo humano que supone un asentamiento informal, se adoptó más recientemente '*informal settlements*'.

Según Pinedo & Lora (2016), los asentamientos informales guardan entre ellos elementos similares relacionados con la falta de criterios de profesionales de la arquitectura y construcción, que muchas veces deriva en el no cumplimiento de las normas constructivas y urbanas.

Los asentamientos según su origen pueden ser:

- a) Invasiones, construidas ilícitamente sobre terrenos, con procesos ilícitos de definición de parcelas y construcción de viviendas, que se edifican con materiales provisionales y económicos en caso de ser expulsados quienes ahí habitan.
- b) Fraccionamiento irregular privado, con terrenos concebidos de acuerdo con la normativa, de uso residencial, con viviendas autoconstruidas, haciendo caso omiso a los documentos definidos en la regulación urbanística,
- c) Fraccionamiento público, como resultado de espacios que fueron públicos y luego se transformaron en zonas para la autoconstrucción urbana en terrenos inestables e inseguros con deficiencia de servicios públicos y accesibilidad, sin tomar en cuenta la normativa urbana.

Según su estado urbanístico, los asentamientos informales se pueden clasificar en:

- a) Precario, con utilización de materiales que se pueden reutilizar, un mal estado urbanístico y ambiental, con existencia de hacinamiento, falta de títulos de propiedad y de equipamientos.
- b) Semi - consolidado, con materiales temporales y permanentes que generalmente se quedan en obra gris y sin acabados, sin títulos de propiedad y con infraestructura y servicios públicos deficientes.

- c) Consolidado, construidos de manera legal, cuentan con servicios básicos, transporte y accesibilidad, sin llegar a un estado urbanístico óptimo debido a los aspectos físicos, naturales y sociales propios del sector.

Los asentamientos informales, usualmente, no cuentan con agua entubada y mucho menos potable, alcantarillado, electricidad, vialidad, equipamientos barriales, áreas de protección, aceras, plazas ni parques. Las viviendas son de materiales poco resistentes, a veces sin técnicas constructivas y con condiciones deficientes de habitabilidad. Ahí se desarrollan enfermedades, la mortalidad infantil, la falta de privacidad y condiciones antihigiénicas (Jalalaldin et al., 2014), tal situación puede modificarse a lo largo del tiempo, en ocasiones durante algunas décadas y no necesariamente del todo.

Muchos de los habitantes tienen ingresos económicos bajos, trabajos temporales e informales e inseguridad jurídica puesto que no tienen documentación que certifique su propiedad, de tal forma que se pone en evidencia el “desequilibrio o desajuste, en igual medida, entre la estructura social (ampliamente concebida) y el medio físico – constructivo y natural que lo rodea” (Lavell, 1996 p. 20).

Frecuentemente, en los asentamientos informales se han generado conflictos con los lotizadores o traficantes de tierras, porque vendían los mismos lotes varias veces o lotes en zonas de riesgo sin decirle a sus compradores. También son comunes los conflictos entre los residentes y el Municipio que ha tratado de reubicar especialmente a quienes se han asentado en zonas de riesgo o protección ecológica (Rodríguez et al., 2016). Los entornos degradados establecen territorios con alto riesgo y vulnerabilidad socioambiental, sociopolítica, socioeconómica y socioespacial.

Según Vargas (2014), es necesario que el Estado defina políticas eficaces para incorporar a los sectores poblacionales de bajos recursos económicos y que promueva un nuevo marco urbanístico inclusivo, que se aparte de satisfacer únicamente los intereses del mercado y que apunte a la formulación de estrategias con enfoque social para atender las condiciones sociales más esenciales, como el derecho al hábitat y la vivienda y a los servicios básicos, bajo principios de equidad y justicia.

En 2018, 4.22 billones de personas vivían en ciudades y áreas metropolitanas, lo que supone un 55% de la población mundial, mientras que en 1950 era solo el 30% (United Nations, 2018). De ellos, más de 1.6 billones de personas viven en barrios desatendidos o en asentamientos informales, conocidos frecuentemente como barrios marginales (UN-Habitat, 2021) y se espera que esa figura se incremente en más del doble en las próximas tres décadas si no se toman las medidas necesarias (UN-Habitat, 2004). Los asentamientos informales representan un desafío ambiental y social cada vez mayor en todo el mundo, particularmente en las ciudades del Sur Global, donde el crecimiento urbano actualmente se concentra en forma de asentamientos informales (Jain et al., 2015; Loor & Evans, 2021; Malakoff et al., 2016).

Si bien los asentamientos informales son ampliamente más frecuentes en el Sur Global, constituyen un desafío planetario y, por tanto, merecen un tratamiento coordinado a escalas local y global. La Nueva Agenda Urbana (UN-Habitat, 2015) sostiene que el esquema actual de urbanización no es sostenible ni conveniente para la prosperidad social y económica; y, exhorta a los formuladores de políticas a un cambio de mentalidad y a ver a la urbanización como una herramienta para el desarrollo sostenible, que debe vincularse con los asentamientos humanos y centrarse en la prosperidad, el sustento y la generación de empleo para la mayor parte de la población.

Para las ciudades de rápido crecimiento de los países en vías de desarrollo, la mejora de los asentamientos informales continúa siendo un desafío importante para alcanzar el desarrollo sostenible. Las políticas de mejora de los asentamientos informales surgieron a fines de la década de 1960 (Fiori & Brandao, 2010), sin embargo, la cantidad de personas que viven en los asentamientos continúa incrementándose. De acuerdo a las proyecciones actuales, mil seiscientos millones de personas viven hoy en asentamientos informales y probablemente para el 2030 el valor se duplique (Barakat et al., 2020).

Por esta razón, debido a la escala de sus repercusiones en la degradación socioambiental, los asentamientos informales son un desafío mundial. Es decir, no deben ser preocupación solamente de las ciudades o países del Sur Global sino de todo el mundo. A pesar de la formulación y aplicación de las políticas establecidas por Naciones Unidas para el mejoramiento integral de los asentamientos informales desde los años 60's, estos territorios continúan siendo un reto socioambiental que no ha sido solucionado en ningún lugar del Sur Global.

En cuanto a los métodos para investigar asentamientos informales, hasta ahora, todo lo que se conoce ha sido el resultado de estudios antropológicos o etnográficos, basados en procesos de observación, con la utilización de datos cualitativos. No ha habido estudios desde la perspectiva de la modelación matemática de estos procesos y las políticas desarrolladas no han abordado apropiadamente la problemática. Por lo tanto, es necesario crear nuevos conocimientos, utilizar herramientas de inteligencia artificial y considerar los criterios.

Las ciudades inteligentes o 'smart cities' contribuyen a la toma de decisiones. La obtención y fusión de datos facilita la formulación de modelos de predicción como método para la configuración de políticas sostenibles para las ciudades. Sin embargo, hay muy pocos estudios que abarquen la problemática de los asentamientos informales de manera cuantitativa.

Muchas de las decisiones en las smart cities están relacionadas con un propósito operativo, obteniendo información en un lugar específico, en tiempo real y con los medios necesarios (Rathore et al., 2016) a través de sensores estáticos y vehiculares, cámaras, herramientas georreferenciadas y dispositivos inteligentes que transmiten los datos utilizando el internet de las cosas -IoT o internet of things- a una plataforma de comunicación e información en red y a diversas aplicaciones para la interpretación de datos y análisis complejos que permitan tomar decisiones (Harrison et al., 2010). Por ejemplo, el suministro de agua en torno a su monitoreo en tiempo real, la recolección de desechos y el uso de TIC en el tráfico y la movilidad para optimizar los horarios, retrasos, aglomeraciones, clima, etc., solucionar los bloqueos y promover la sostenibilidad ambiental (Welch & Widita, 2019).

La toma de decisiones tácticas se relaciona con las medidas preventivas y a futuro sobre los datos recolectados para la gestión de activos y la prestación de servicios. Se aplican principalmente en la congestión vehicular, en el transporte público y en los robos.

Sobre la toma de decisiones políticas, las smart cities usan big data para planes a futuro y a largo plazo. Por ejemplo, en Seúl, el Gobierno Metropolitano en 2013, de acuerdo a la evidencia de datos de cinco millones de viajes nocturnos en taxi y tres mil millones de accesos a teléfonos móviles entre las 24h00 y las 05h00, decidió introducir autobuses en ese horario y diseñar su ruta. Según la investigación de Hong et al. (2019) entre 2015 – 2016 el número promedio de pasajeros nocturnos fue mayor en un 23% a 33% que los diurnos, concluyendo que la formulación de políticas en base a evidencia de big data permitió que las decisiones se centraran con mayor precisión en las preferencias de los ciudadanos. De la misma manera, en Beijing se cambió la flota de taxis a vehículos eléctricos y gracias a la evidencia recolectada por datos de fuentes como GIS, teléfonos móviles y sistema de tránsito, se pudo establecer la mejor ubicación de las estaciones de carga para vehículos eléctricos híbridos y luego completamente eléctricos (Li, M., Jia et al., 2017).

Una smart city, con un alto nivel de gobernanza inteligente se logra a base de cooperación entre las organizaciones en el intercambio de datos (Welch & Widita, 2019). Por lo tanto, se debe buscar la colaboración y coordinación interdepartamental e intergubernamental, evitando las restricciones en el intercambio y compatibilidad de datos para la toma de decisiones (Mills et al., 2022). De esta manera, la ciudad en sí se convierte en un proceso continuo que permite que las ciudades se vuelvan más habitables y resilientes gracias al posicionamiento de las TIC como elementos de mejora en la participación ciudadana.

Results

Salazar & Cuvi (2016) describe informal settlements as neighborhoods that are initially precarious with complex housing, built through the invasion of public or private land, informal market lots promoted by real estate speculators, informal land dealers (also known as traffickers of land), neighborhood, local or national politicians, mainly in the contours of the urban fabric with further consolidation. Informal settlements are known with different names globally. To mention a few, there is favela, callampa, shantytown, slum, toma, suburb, chacarita, cantegril, pirate urbanization, neighborhood, etc. (Un-Habitat, 2003; Mena, 2010). Also as peripheral neighborhoods, popular neighborhoods, invasions and, in recent years, as informal or irregular settlements. The term used in English initially was 'slums' although it was later considered pejorative (Zárate, 2019). In part, because of the human effort involved in an informal settlement, the name 'informal settlements' was more recently adopted.

According to Pinedo & Lora (2016), informal settlements contain similar elements related to the lack of criteria of architecture and construction professionals, which often leads to non-compliance with construction and urban regulations.

The settlements according to their origin can be:

a) Invasions, illegally built on land, with illegal processes of defining plots and construction of houses, which are built with temporary and cheap materials in case those who live there are expelled.

b) Irregular private subdivision, with land conceived under the regulations for residential use, with self-built homes, ignoring the documents defined in the urban regulation,

c) Public subdivision, because of spaces that were public and later became areas for urban self-construction on unstable land with poor public services and accessibility, without considering urban regulations.

According to their urban status, informal settlements can be classified as:

a) Precarious, with the use of materials that can be reused, a poor urban and environmental state, with the existence of overcrowding, lack of property titles and equipment.

b) Semi-consolidated, with temporary and permanent materials that remain gray and unfinished, without property titles and with poor infrastructure and public services.

c) Consolidated, built legally, have basic services, transportation and accessibility, without reaching an optimal urban status due to the physical, natural and social aspects of the sector.

Informal settlements rarely have piped water, much less drinking water, sewage, electricity, roads, neighborhood facilities, protection areas, sidewalks, squares or parks. The houses are made of poorly resistant materials, sometimes without construction techniques and with poor habitability conditions. Diseases, infant mortality, lack of privacy and unhygienic conditions develop there (Jalalaldin et al., 2014), such a situation can change over time, sometimes for a few decades and not necessarily complete.

Many of the inhabitants have low economic income, temporary and informal jobs and legal insecurity since they do not have documentation that certifies their ownership, in such a way that the "imbalance or mismatch, in equal measure, between the social structure (widely conceived) and the physical–constructive and natural environment that surrounds it" (Lavell, 1996:20).

Frequently, conflicts have arisen in informal settlements with land developers or traffickers, because they sold the same lots several times or lots in risky areas without telling their buyers. Conflicts between residents and the Municipality, which has tried to relocate especially those who have settled in risk or ecological protection areas, are also common (Rodriguez et al., 2016). Degraded environments establish territories with high socio-environmental, socio-political, socio-economic and socio-spatial risk and vulnerability.

According to Vargas (2014), it is necessary for the State to define effective policies to incorporate population sectors with low economic resources and to promote a new inclusive urban

framework, which departs from satisfying only the interests of the market and which aims to formulate strategies with a social focus to address the most essential social conditions, such as the right to habitat and housing and to basic services, under principles of equity and justice.

In 2018, 4.22 billion people lived in cities and metropolitan areas, which represents 55% of the world population, while in 1950 it was only 30% (United Nations, 2018). Of these, over 1.6 billion people live in neglected neighborhoods or informal settlements, often known as slums (UN-Habitat, 2021) and that figure is expected to more than double in the next three decades if they don't take the measures (UN-Habitat, 2004). Informal settlements represent a growing environmental and social challenge around the world, particularly in cities of the Global South, where urban growth is currently concentrated as informal settlements (Jain et al., 2015; Loor & Evans, 2021 ; Malakoff et al., 2016).

Although informal settlements are far more prevalent in the Global South, they make up a global challenge and therefore deserve coordinated treatment at local and global scales. The New Urban Agenda (UN-Habitat, 2015) maintains that the current urbanization scheme is neither sustainable nor convenient for social and economic prosperity; and calls on policymakers to change mindsets and see urbanization as a tool for sustainable development, which should be linked to human settlements and focused on prosperity, livelihoods and job creation for most of the population.

For fast-growing cities in developing countries, upgrading informal settlements remains a major challenge to achieving sustainable development. Informal settlement upgrading policies emerged in the late 1960s (Fiori & Brandao, 2010), yet the number of people living in settlements continues to increase. According to current projections, one thousand six hundred million people today live in informal settlements and probably by 2030 the value will double (Barakat et al., 2020).

For this reason, because of the scale of their repercussions on socio-environmental degradation, informal settlements are a global challenge. They should not only be the concern of the cities or countries of the Global South, but of the entire world. Despite the formulation and application of the policies established by the United Nations for the comprehensive improvement of informal settlements since the 1960s, these territories continue to be a socio-environmental challenge that has not been solved anywhere in the Global South.

In terms of methods for investigating informal settlements, until now, everything that is known about informal settlements has resulted from anthropological or ethnographic studies, based on observation processes, with the use of qualitative data, however, there have been no studies from the perspective of mathematical modeling of these processes and the policies developed have not adequately addressed the problem. Therefore, it is necessary to create new knowledge, use artificial intelligence tools and consider the criteria.

'Smart cities' can contribute to decision-making by municipal authorities and civil society alike. Getting and analyzing data systematically can facilitate the formulation of prediction models as a method for the configuration of sustainable policies in cities. However, there are very few studies that address informal settlements from a quantitative perspective.

Many smart city-based decisions have an operational purpose. Such data involve, for instance, information in a specific place, in real time and with the necessary means (Rathore et al., 2016), obtained through static and mobile sensors, cameras, geo-referenced tools and smart devices. Data are transmitted using the Internet of Things -IoT- to a network communication and information platform and to various applications for data interpretation and complex analysis that allow decision making (Harrison et al., 2010). For example, water supply around its real-time monitoring, waste collection and the use of ICT in traffic and mobility to optimize schedules, delays, crowds, weather, etc., solve blockages and promote environmental sustainability (Welch & Widita, 2019).

Tactical decision making relates to forward and preventative action on collected data for asset management and service delivery. They are applied mainly in vehicular congestion, in public transport and in robberies.

On political decision making, smart cities use big data for future and long-term plans. For example, in Seoul, the Metropolitan Government in 2013, based on data produced by five million overnight taxi trips and three billion mobile phone accesses between 12:00 a.m. and 5:00 a.m., introduced new bus schedules and routes. According to the research of Hong et al. (2019) between 2015 - 2016 the average number of night passengers was 23% to 33% higher than day passengers, concluding that the formulation of policies based on big data evidence allowed decisions to focus more precisely on the citizen preferences. In the same way, in Beijing the taxi fleet was changed to electric vehicles and thanks to the evidence collected by data from sources such as GIS, mobile phones and the transit system, the best location of the charging stations for electric vehicles could be established. Hybrids and then fully electric (Li, M., Jia et al., 2017).

A smart city can be achieved by engaging in data exchange cooperation between organizations (Welch & Widita, 2019). Therefore, interdepartmental and intergovernmental collaboration and coordination should be sought, avoiding restrictions in the exchange and compatibility of data for decision making (Mills et al., 2022). In this way, the city itself becomes a continuous process that allows cities to become more livable and resilient thanks to the positioning of ICTs as elements for improving citizen participation.

Conclusiones

- Los asentamientos informales transforman el espacio en territorio con múltiples consecuencias a través de un proceso social y socio ecológico.
- Los asentamientos informales han crecido exponencialmente desde los años 60's en América Latina y ningún gobierno del mundo en vías de desarrollo hasta la actualidad ha podido solucionar el problema.
- Los asentamientos informales son un desafío mundial por la escala de sus repercusiones en la degradación socioambiental.
- La obtención y fusión de datos facilita la formulación de modelos de predicción como método para la configuración de políticas sostenibles para las ciudades.
- Es necesario combinar la visión antropológica de los asentamientos informales con el uso de metadatos, inteligencia artificial y ciudad inteligente para ayudar a los gobiernos a tomar decisiones acertadas que beneficien a toda la ciudad.

CONCLUSIONS

- Informal settlements transform space into territory with multiple consequences through a social and socio-ecological process.
- Informal settlements have grown exponentially since the 1960s in Latin America and no government in the developing world to date has been able to solve the problem.
- Informal settlements are a global challenge due to the scale of their repercussions on socio-environmental degradation.
- Obtaining and merging data facilitates the formulation of prediction models as a method for the configuration of sustainable policies for cities.
- It is necessary to combine the anthropological vision of informal settlements with the use of metadata, artificial intelligence, and smart cities to help governments make the right decisions that benefit the entire city.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- Ayala Garcia, E. T., & Hernandez Suarez, C. A. (2017). Meetings, disagreements, uses and appropriations in the Colombia- Venezuela urban border space. *Revista Encuentros*, 15(2), 115.
<https://doi.org/10.15665/re.v15i2.848>
- Barakat, M. M., Aboulnaga, M. M., & Badran, M. F. (2020). Towards Resilient Cities: Improving Unplanned Urban Areas—Strategic Environmental Assessment and Upgrading Guidelines in Developing Countries. In A. Sayigh (Ed.), *Green Buildings and Renewable Energy*. Springer International Publishing.
- Delgado Blasco, J. M., Cian, F., Hanssen, R. F., & Verstraeten, G. (2020). Mapping and quantifying the human-environment interactions in middle Egypt using machine learning and satellite data fusion techniques. *Remote Sensing*, 12(3), 584.
- Fiori, J., & Brandao, Z. (2010). Spatial strategies and urban social policy. Urbanism and poverty reduction in the favelas of Rio de Janeiro. *Rethinking the Informal City. Critical Perspectives from Latin America*, 181–205.
- Harvey, D. (2013). *Ciudades rebeldes: del derecho de la ciudad a la revolución urbana* (Ediciones akal (ed.)).
- Pels, J., & Sheth, J. N. (2018). *Designing solutions for the low income consumer markets: Four schools of thought* (S. and D. B. M. Bottom of the Pyramid Marketing: Making (ed.)). Emerald Publishing Limited.
- Pinedo, J., & Lora, C. (2016). Hacia una tipología de asentamientos informales. *ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 10(30), 11–30.
<https://doi.org/10.5821/ace.11.30.3977>
- Salazar, A. G., & Cuvi, N. (2016). Asentamientos informales y medio ambiente en Quito. *Areas. Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 0(35), 101–119.
- Swyngedouw, E. (2011). ¡ La naturaleza no existe! La sostenibilidad como síntoma de una planificación despolitizada/Nature does not exist! Sustainability as Symptom of a Depoliticized Planning. *Urban*, 01, 41–66.
- UN-Habitat. (2004). The challenge of slums: Global report on human settlements 2003. *Manag. Environ. Qual. Int. J.*, 15, 337–338.
- UN-Habitat. (2015). *Urbanization for Prosperity, Nairobi: UN Habitat*.
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). (2021). *Indicator 11.1.1: Proportion of Urban Population Living in Slums, Informal Settlements or Inadequate Housing*.
<https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-11-01-01.pdf>

