

VIABILIDAD DE LAS FACHADAS INDUSTRIALIZADAS EN LA REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS

M. Iborra-Lucas^{1,2,3}, John J. Zambrano-Alcivar^{2,3}
 Dpto. Construcciones Arquitectónicas¹; Universitat Politècnica de València²; ETS. Ingeniería de Edificación³

INTRODUCCIÓN

El parque edificatorio es uno de los principales responsables del impacto ambiental, debido a su elevado consumo de recursos y generación masiva de residuos. En España, un gran porcentaje de edificaciones requieren intervenciones urgentes, ya que han superado su vida útil mínima. Estas acciones son necesarias para prolongar su funcionalidad y rendimiento, además de alinearlas con los objetivos de Desarrollo Sostenible y las nuevas directrices normativas europeas y nacionales [1,2]. Este trabajo de investigación está orientado a realizar un estudio de viabilidad técnica, considerando los distintos sistemas modulares de fachadas industrializadas existentes en el sector [3], centrandonos en su compatibilidad y comportamiento estructural por la repercusión de las cargas adicionales, tomando en cuenta que cuyo enfoque son edificaciones obsoletas y por lo que requiere un mejoramiento energético, ya que están construidos con requerimientos técnicos distintos a los actuales. En resumen, de las fachadas industrializadas lo que se quiere es llevar a cabo una evaluación, comparación y verificación en cuanto a su viabilidad técnica, adaptando el concepto de industrialización a la rehabilitación energética.

INTRODUCCIÓN

The building stock is currently one of the main contributors to environmental impact due to its high resource consumption and massive waste generation. In Spain, a significant percentage of buildings urgently require interventions as they have exceeded their minimum useful life. These actions are essential to prolong their functionality and performance while aligning them with Sustainable Development Goals and new European and National rules. This research aims to conduct a feasibility study, considering the various modular industrial facade systems existing in the sector, focusing on their compatibility and structural behavior due to the impact of additional loads. The study is particularly relevant for outdated buildings that require energy improvements, as they were constructed with technical requirements different from current standards. In summary, the goal is to assess, compare, and verify the technical feasibility of industrialized facades, adapting the concept of industrialization to energy rehabilitation.

METODOLOGÍA

El estudio busca evaluar la compatibilidad técnica y estructural de estos sistemas, enfocándose en la carga adicional en estructuras existentes, y validar su aplicación en rehabilitaciones a gran escala, cumpliendo con estándares de sostenibilidad y normativas energéticas. La metodología aplicada se representa y se desarrolla de manera alineada con la estructura general de la investigación, Tabla 1:

Tabla 1. Metodología de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

VIABILIDAD DE LAS FACHADAS INDUSTRIALIZADAS EN REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS RESIDENCIALES			
INTRODUCCIÓN	OBJETIVOS	ESTRUCTURA Y CONTENIDO	METODOLOGÍA
1.1.1.1. INTRODUCCIÓN	1.1.1.2. OBJETIVOS	1.1.1.3. ESTRUCTURA Y CONTENIDO	1.1.1.4. METODOLOGÍA
1.2.1.1. ESTADO DEL ARTE	1.2.1.2. ANTICENTROS	1.2.1.3. MARCO TEÓRICO	1.2.1.4. METODOLOGÍA
1.3.1.1. DESARROLLO HISTÓRICO DE LA NORMATIVA	1.3.1.2. SOLUCIONES TRADICIONALES (SEMI-INDUSTRIALIZACIÓN)	1.3.1.3. MARCO TEÓRICO	1.3.1.4. METODOLOGÍA
1.4.1.1. PROYECTO EN ESTUDIO	1.4.1.2. ESTUDIOS PREVIOS AL DESARROLLO EXPERIMENTAL	1.4.1.3. ESTUDIOS PREVIOS AL DESARROLLO EXPERIMENTAL	1.4.1.4. METODOLOGÍA
2.1.1.1. PRELIMINARES	2.1.1.2. ANÁLISIS PRELIMINAR AL DESARROLLO EXPERIMENTAL - PRACTICO	2.1.1.3. MODELACION Y EVALUACION	2.1.1.4. PROPUESTA Y RESULTADOS
2.2.1.1. ANÁLISIS PRELIMINAR AL DESARROLLO EXPERIMENTAL - PRACTICO	2.2.1.2. MODELACION Y EVALUACION	2.2.1.3. PROPUESTA Y RESULTADOS	2.2.1.4. METODOLOGÍA
2.3.1.1. CONCLUSIONES	2.3.1.2. LINEAS FUTURAS		

Ante la falta de un sistema industrializado que se ajuste a las necesidades actuales de la rehabilitación de edificaciones existentes, surge la necesidad de evaluar la sustitución frente a la incorporación de un sistema industrializado sobre ella. Este análisis debe establecer criterios clave que guíen el proceso de decisión y permitan seleccionar la opción más conveniente y eficiente, Tabla 2.

Tabla 2. Pros-Cons de mantener/eliminar una fachada existente en la edificación. Fuente: Elaboración propia.

FACHADA EXISTENTE		ELIMINAR	
PROS	MANTENER	Liberad de personalizar y aplicar de un sistema modular.	
	Reducción en los tiempos de intervención en la obra.	Conservación en la seguridad y estabilidad estructural del edificio.	
	Superar las limitaciones energéticas incipientes.	Complir con los estándares actuales de eficiencia energética.	
	Dismiuye los riesgos por invasión interna.	Menor mantenimiento a futuro.	
CONTRAS	MANTENER	Generación de residuos.	
	Limitación en la personalización.	Implica mayores tiempos de intervención.	
	Inversión de espacio público por una ampliación.	Possible daños derivados de la demolición.	
	Alteración de las características arquitectónicas originales del edificio.	Costes más altos en términos de mano de obra, tiempo y gestión de residuos.	

RESULTADOS

En el caso de estudio seleccionado, se desarrolló un análisis basado en los principios de diseño de sistemas industrializados, con el objetivo de identificar posibles soluciones que cumplan con los requisitos de peso establecidos.

Se dio prioridad a que estas opciones no excedieran los límites definidos en el análisis estructural, garantizando así la viabilidad y seguridad del sistema propuesto. Las soluciones identificadas se detallan en la Tabla 4.

Finalmente, se evaluaron los diferentes sistemas propuestos para integrarlos a la envolvente existente del edificio, cuyos valores de transmitancia térmica cumplen con los límites establecidos por la normativa vigente (DB-HE). Los resultados reflejan una mejora significativa en la eficiencia energética al comparar los prototipos de intervención con el sistema tradicional inicial. En términos de emisiones y consumo de energía primaria, todos los prototipos lograron una reducción superior al 30%. La demanda de calefacción, alcanzó una reducción notable, de más del 60%.

CONCLUSIONES

- Los prototipos evaluados podrían optimizarse con un rediseño y el uso de tecnologías activas para reducir aún más el consumo energético primario y mejorar su recalificación energética.
- Los edificios requieren de un estudio previo estructural para verificar la compatibilidad con los sistemas industrializados, debido a la variabilidad que presentan las edificaciones antiguas.
- Estas propuestas no solo contribuyen a la eficiencia energética y la sostenibilidad, sino que también agregan valor a un bien inmueble, alineándose al mismo tiempo con las metas ambientales de la Unión Europea.
- Los sistemas industrializados facilitan la trabajabilidad, minimizan impactos sobre los ocupantes y reduce los tiempos de ejecución.

BIBLIOGRAFÍA

- CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN, «Seguridad Estructural DB-SE-AE. Ahorro de Energía DB-HE».
- Comisión Europea, «Una ola de renovación para Europa: ecologizar nuestros edificios, crear puestos de trabajo, mejorar vidas».
- T. Konstantinou y C. Heesbeen, «Industrialized renovation of the building envelope: realizing the potential to decarbonize the European building stock», en *Rethinking Building Skins: Transformative Technologies and Research Trajectories*, Elsevier, 2021, pp. 257-283. doi: 10.1016/B978-0-12-822477-9.00008-5.

Para abordar este problema, además se desarrolló un diagrama de flujo, Figura 1, con el fin de ayudar a facilitar la toma de decisiones en la rehabilitación de un edificio.

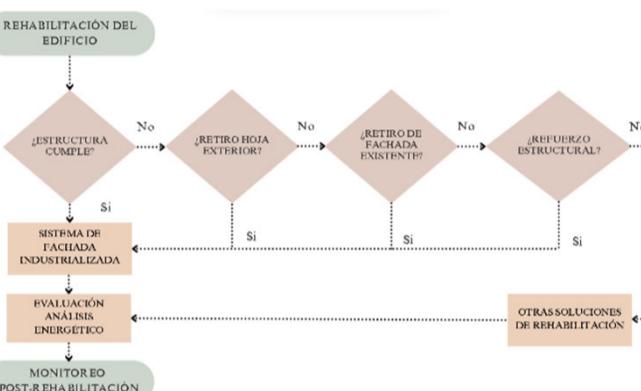


Figura 1. Diagrama de flujo de proceso para la rehabilitación del edificio. Fuente: Elaboración propia.

El proyecto en estudio corresponde a un edificio de uso mixto, con áreas residenciales y comerciales, ubicado en un entorno urbano consolidado y construido en la segunda mitad del siglo XX. El análisis estructural y energético se enfocó en las áreas de la fachada donde se proyecta instalar un sistema modular industrializado. Se evaluó la capacidad estructural mediante combinaciones de cargas hasta identificar el punto de fallo, lo que permitió determinar la carga máxima admisible de 1 kN/m (101,94 kg/m), equivalente a 34 kg/m² para una altura de 3 metros, garantizando la viabilidad estructural del sistema modular, Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de simulación de cargas lineales. Fuente: Elaboración propia

SIMULACIÓN DE CARGAS						
CARGA [kN/m]	DEFORMACIÓN [cm]	FLECHA ACTIVA	ZONA	AFFECTACIÓN	RESULTADO	
2,50	0,371	L/416	Viga 83 (P1 - volvido)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
	0,294	L/473	Viga 83 (P6 - volvido)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
2,10	0,357	L/432	Viga 83 (P1 - volvido)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
	0,312	L/446	Viga 83 (P6 - volvido)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
1,80	0,344	L/448	Viga 83 (P1 - volvido)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
	0,297	L/469	Viga 83 (P6 - volvido)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
1,50	0,330	L/467	Viga 83 (P1 - volvido)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
	0,286	L/487	Viga 83 (P6 - volvido)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
1,30	0,321	L/480	Viga 83 (P1 - volvido)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
	1,15	0,314	L/491	Viga 83 (P1 - volvido)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.
1,05	0,309	L/499	Viga 83 (P1 - volvido)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
1,00	0,307	L/502				

METHODOLOGY

The study aims to evaluate the technical and structural compatibility of these systems, focusing on the additional load on existing structures, and validate their application in large-scale rehabilitation, complying with sustainability standards and energy regulations. The methodology applied is represented and developed in alignment with the general structure of the research, Table 1:

Table 1. Research Methodology. Source: Own elaboration.

FEASIBILITY OF INDUSTRIALIZED FAÇADES IN BUILDING REHABILITATION			
1.1.1.1. INTRODUCTION	1.1.1.2. OBJECTIVES	1.1.1.3. STRUCTURE AND CONTENT	1.1.1.4. METHODOLOGY
1.1.1.1.1. STATE OF THE ART	1.1.1.1.2. RECENT TRENDS	1.1.1.1.3. THEORETICAL FRAMEWORK	1.1.1.1.4. FEASIBILITY OF INDUSTRIALIZED FAÇADES
1.1.1.2.1. HISTORICAL DEVELOPMENT OF THE REGULATIONS	1.1.1.2.2. TRADITIONAL SOLUTIONS (SEMI-INDUSTRIALIZATION)	1.1.1.2.3. INDUSTRIALIZATION IN REHABILITATION OF RESIDENTIAL BUILDINGS	1.1.1.2.4. INDUSTRIALIZED FAÇADE SYSTEMS
1.1.1.3.1. PRELIMINARY ANALYSIS	1.1.1.3.2. ENERGY ANALYSIS	1.1.1.3.3. CASE STUDY	1.1.1.3.4. MONITORING POST-REHABILITATION
1.1.1.4.1. PRELIMINARY ANALYSIS	1.1.1.4.2. ENERGY ANALYSIS	1.1.1.4.3. MONITORING POST-REHABILITATION	1.1.1.4.4. OTHER SOLUTIONS OF REHABILITATION

To address this issue, a flowchart (Figure 1) was also developed to help facilitate the decision-making process in building rehabilitation.

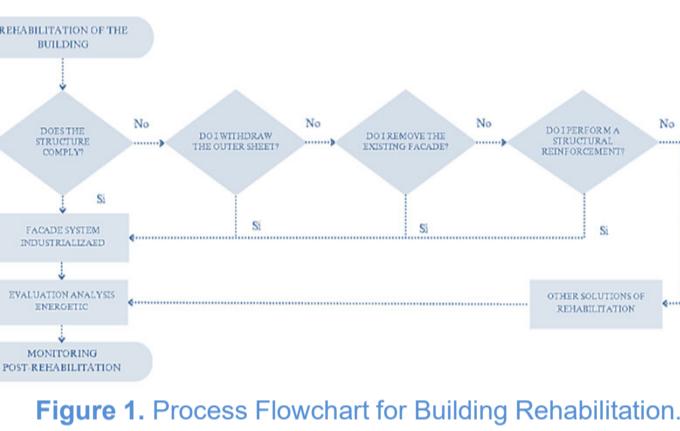


Figure 1. Process Flowchart for Building Rehabilitation. Source: Own elaboration.

The project under study is a mixed-use building, with residential and commercial areas, located in a consolidated urban environment and built in the second half of the 20th century. The structural and energy analysis focused on the areas of the facade where a modular industrial system is planned to be installed. The structural capacity was evaluated through combinations of loads until the failure point was identified, which allowed determining the maximum admissible load of 1 kN/m (101,94 kg/m), equivalent to 34 kg/m^{2</}