



# VIABILIDAD DE LAS FACHADAS INDUSTRIALIZADAS EN LA REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS

## FEASIBILITY OF INDUSTRIALIZED FACADES IN BUILDING REHABILITATION

M. Iborra-Lucas<sup>1,2,3</sup>, John J. Zambrano-Alcivar<sup>2,3</sup>  
Dpto. Construcciones Arquitectónicas<sup>1</sup>; Universitat Politècnica de València<sup>2</sup>; ETS. Ingeniería de Edificación<sup>3</sup>

### 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], centrándonos 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 requerimiento 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.

### INTRODUCTION

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 façade 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 The study is particularly relevant for outdated buildings that require energy improvements, as they were constructed with technical requirements different from current standards.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			
1.1	INTRODUCCIÓN	1.2	OBJETIVOS
1.3	ESTADO DEL ARTE	1.4	ESTRUCTURA Y CONTENIDO
1.5	METODOLOGÍA	1.6	ANTECEDENTES
1.7	DESARROLLO HISTÓRICO DE LA NORMATIVA	1.8	SOLUCIONES TRADICIONALES (SEM INDUSTRIALIZACIÓN)
1.9	SISTEMAS MODULARES INDUSTRIALIZADOS	1.10	BENEFICIOS Y REGULACIONES TÉCNICAS SISTEMAS
1.11	ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ENERGÉTICO	1.12	OTRAS SOLUCIONES DE REHABILITACIÓN
1.13	MONITORIO POST-REHABILITACIÓN	1.14	CONCLUSIONES

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.

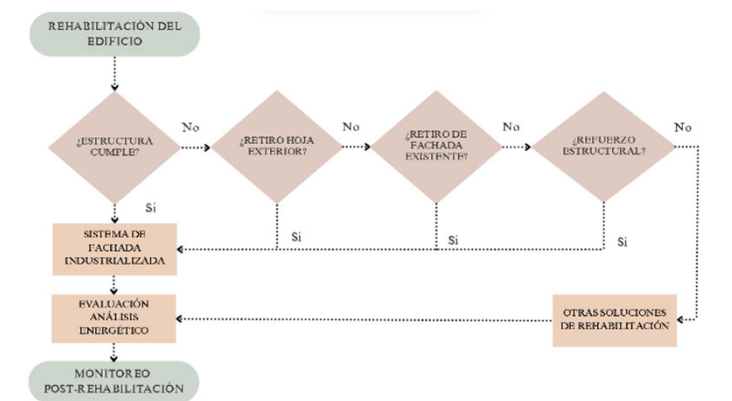


Figura 1. Diagrama de flujo de proceso para la rehabilitación del edificio. Fuente: Elaboración propia.

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 [mm]	FLECHA ACTIVA	ZONA	AFECTACIÓN	RESULTADO	ACTUACION
2,50	0,371	L-416	Viga 83 (P1 - voladizo)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	Añadir refuerzos que limiten la deformación. Aumentar rigidez cumpliendo la sección.
	0,291	L-473	Vigeta (P6 - voladizo)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa vigeta.	
2,10	0,257	L-432	Viga 83 (P1 - voladizo)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
	0,212	L-446	Vigeta (P6 - voladizo)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa vigeta.	
1,80	0,244	L-448	Viga 83 (P1 - voladizo)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
	0,207	L-469	Vigeta (P6 - voladizo)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa vigeta.	
1,50	0,230	L-467	Viga 83 (P1 - voladizo)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
	0,206	L-487	Vigeta (P6 - voladizo)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa vigeta.	
1,20	0,221	L-480	Viga 83 (P1 - voladizo)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	
	0,195	0,314	L-491	Viga 83 (P1 - voladizo)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.
1,05	0,209	L-489	Viga 83 (P1 - voladizo)	Planta 1 a Planta 5	No cumple flecha activa viga.	-
1,00	0,207	L-502	-	-	-	-

Tabla 4. Prototipos de diseños. Fuente: Elaboración propia.

SISTEMAS MODULARES INDUSTRIALIZADOS	INICIAL	PROTOTIPOS		
	0	1	2	3
	Modelo Base	Sist. Fachada Panel Sándwich	Sist. Fachada Ventilada	Sist. Fachada SATE
Ancho (m)	0,185	0,143	0,144	0,20
Peso (kg/m²)	45,00	33,03	32,03	30,65

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

FACHADA EXISTENTE			
PROS	MANTENER	ELIMINAR	PROS
	Ahorro en costes de demolición y gestión de residuos.	Libertad 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.	
CONTRAS	MANTENER	ELIMINAR	CONTRAS
	Necesidad de refuerzos estructurales (según el caso).	Generación de residuos.	
	Limitación en la personalización.	Implica mayores tiempos de intervención.	
	Invasión 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

- [1] CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN, «Seguridad Estructural DB-SE-AE. Ahorro de Energía DB-HE», .
- [2] Comisión Europea, «Una ola de renovación para Europa: ecológizar nuestros edificios, crear puestos de trabajo, mejorar vidas.»
- [3] 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.

### 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 FACADES IN BUILDING REHABILITATION			
1.1	INTRODUCTION	1.2	OBJECTIVES
1.3	STATE OF THE ART	1.4	STRUCTURE AND CONTENT
1.5	METHODOLOGY	1.6	ANTECEDENTES
1.7	DESARROLLO HISTÓRICO DE LA NORMATIVA	1.8	SOLUCIONES TRADICIONALES (SEM INDUSTRIALIZACIÓN)
1.9	SISTEMAS MODULARES INDUSTRIALIZADOS	1.10	BENEFICIOS Y REGULACIONES TÉCNICAS SISTEMAS
1.11	ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ENERGÉTICO	1.12	OTRAS SOLUCIONES DE REHABILITACIÓN
1.13	MONITORIO POST-REHABILITACIÓN	1.14	CONCLUSIONES

Due to the lack of an industrialized system that fully meets the current needs of existing building rehabilitation, there is a need to evaluate whether it is more appropriate to replace the current facade or incorporate an industrialized system onto it. This analysis must establish key criteria to guide the decision-making process and select the most suitable and efficient option (see table 2).

Table 2. Pros-Cons of maintaining/eliminating an existing facade on the building. Source: Own elaboration.

EXISTING FACADE			
PROS	MAINTAIN	ELIMINATE	PROS
	Savings in demolition and waste management costs.	Freedom to customize and apply a modular system.	
	Reduction in intervention times in the work.	Conservation in the safety and structural stability of the building.	
CONS	MAINTAIN	ELIMINATE	CONS
	Overcomes the initial energy limitations	Comply with current energy efficiency standards.	
	Reduces the risks of internal invasion.	Less maintenance in the future.	
	Need for structural reinforcements (as appropriate).	Generation of waste.	
	Limitation in customization.	It implies longer intervention times.	
	Invasion of public spaces for an expansion.	Possible damage resulting from demolition.	
	Alteration of the original architectural characteristics of the buildings.	Higher costs in terms of labor, time and waste management.	

### RESULTS

For the selected case study, an analysis was conducted based on the principles of designing industrialized systems to identify potential solutions that meet the established weight requirements.

Priority was given to ensuring that these options did not exceed the limits defined in the structural analysis, thereby guaranteeing the feasibility and safety of the proposed system. The identified solutions are detailed in Table 4.

Finally, the different systems proposed for attachment to the existing building envelope were evaluated, with their thermal transmittance values meeting the limits required by current regulations (DB-HE). The results show a significant improvement in energy efficiency when comparing the intervention prototypes with the initial traditional system. In terms of emissions and primary energy consumption, all prototypes achieved a reduction of over 30%. Additionally, regarding heating demand, a notable reduction was achieved, lowering it by more than 60%.

### CONCLUSIONS

- The evaluated prototypes could be optimized with a redesign and the use of active technologies to further reduce primary energy consumption and improve its energy recalibration.
- Buildings require a prior structural study to verify compatibility with industrialized systems due to the variability found in older buildings.
- These proposals not only contribute to energy efficiency and sustainability but also add value to a property, while aligning with the European Union's environmental goals.
- The industrialized systems improve workability by minimizing impacts on occupants and reducing execution times.

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

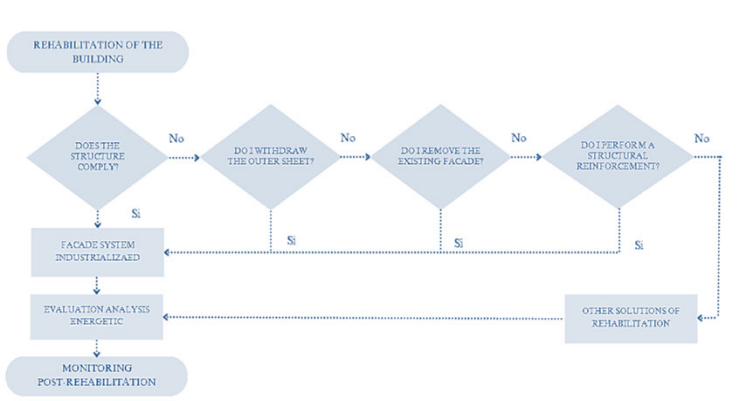


Figure 1. Process Flowchart for Building Rehabilitation. Source: Own elaboration.

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/m² for a height of 3 meters, ensuring the structural viability of the modular system, Tab 3.

Table 3. Linear load simulation results. Source: Own elaboration

LOADS SIMULATION						
LOAD [kN/m]	DEFORMATION [mm]	ACTIVE DEFLECTION	AREA	AFTER CATION	RESULT	PERFORMANCE
2,50	0,371	L-416	Beam 83 (P1 - voladizo)	Floor 1 a Floor 5	Active deflection of the beam is not compliant.	Add reinforcements to limit deformation. Increase rigidity expanding the section.
	0,294	L-473	Joint (P6 - voladizo)	Floor 1 a Floor 5	Active deflection of the joint is not compliant.	
2,10	0,257	L-432	Beam 83 (P1 - voladizo)	Floor 1 a Floor 5	Active deflection of the beam is not compliant.	
	0,212	L-446	Joint (P6 - voladizo)	Floor 1 a Floor 5	Active deflection of the joint is not compliant.	
1,80	0,244	L-448	Beam 83 (P1 - voladizo)	Floor 1 a Floor 5	Active deflection of the beam is not compliant.	
	0,207	L-469	Joint (P6 - voladizo)	Floor 1 a Floor 5	Active deflection of the joint is not compliant.	
1,50	0,230	L-467	Beam 83 (P1 - voladizo)	Floor 1 a Floor 5	Active deflection of the beam is not compliant.	
	0,206	L-487	Joint (P6 - voladizo)	Floor 1 a Floor 5	Active deflection of the joint is not compliant.	
1,20	0,221	L-480	Beam 83 (P1 - voladizo)	Floor 1 a Floor 5	Active deflection of the beam is not compliant.	
	0,195	0,314	L-491	Beam 83 (P1 - voladizo)	Floor 1 a Floor 5	Active deflection of the beam is not compliant.
1,05	0,209	L-489	Beam 83 (P1 - voladizo)	Floor 1 a Floor 5	Active deflection of the beam is not compliant.	-
1,00	0,207	L-502	-	-	-	-

Table 4. Design Prototypes. Source: Own elaboration

MODULAR SYSTEMS INDUSTRIALIZED	INITIAL	PROTOTYPES		
	0	1	2	3
	Base Model	Syst. Sandwich panel facade	Syst. Ventilated facade	Syst. Facade SATE
Width (m)	0,185	0,143	0,144	0,20
Weight (kg/m²)	45,00	33,03	32,03	30,65