



Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla, ETSAS

***“Estrategias de rehabilitación energética en edificios de vivienda colectiva: aplicación a un caso de estudio de interés patrimonial en Córdoba”***

***Caso de estudio: Viviendas sociales para la Fundación Benéfico Social en el Sector Sur de Córdoba***

Trabajo Fin de Grado de  
**Ángel Pérez Colmenero**







Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla, ETSAS

***“Estrategias de rehabilitación energética en edificios de vivienda colectiva: aplicación a un caso de estudio de interés patrimonial en Córdoba”***

***Caso de estudio: Viviendas sociales para la Fundación Benéfico Social en el Sector Sur de Córdoba***

**Autor:** Ángel Pérez Colmenero

**Tutor:** Juan José Sendra Salas

**Grupo TFG-B:**

Estructuras de la Edificación - Construcciones Arquitectónicas - Ingeniería del Terreno

**Grado** en Fundamentos de Arquitectura

**Curso** 2021/22

Sevilla, noviembre 2022

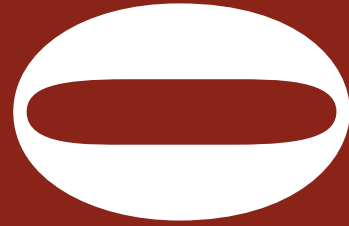
# PRÓLOGO

<b>0. LISTADO DE ABREVIATURAS</b> .....	6
<b>0. RESUMEN. PALABRAS CLAVE</b> .....	7
<b>0. ABSTRACT. KEYWORDS</b> .....	8

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	9
1.1. Motivación, relevancia y oportunidad .....	10
1.2. Alcance del ámbito de estudio .....	13
1.3. Preguntas de investigación .....	15
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	16
2.1. Objetivos generales.....	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
<b>3. ESTADO DEL ARTE</b> .....	18
3.1. Mejora de la eficiencia energética en edificios de interés patrimonial.....	19
3.2. Mejora de la eficiencia energética en vivienda colectiva .....	21
<b>4. MARCO NORMATIVO</b> .....	26
4.1. Marco legal europeo .....	27
4.2. Marco legal nacional .....	28
4.3. Marco legal autonómico .....	30
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	31
5.1. Metodología.....	32
5.2. Descripción de las tareas .....	34
<b>6. CASO DE ESTUDIO</b> .....	38
6.1. Origen del caso de estudio.....	39
6.2. Valor patrimonial del caso de estudio.....	43
6.3. Estado original.....	44
6.3.1. Caracterización constructiva.....	49

6.3.2. Valoración energética.....	59
6.4. Estado actual.....	62
6.4.1. Caracterización constructiva.....	68
6.4.2. Valoración energética.....	87
<b>7. DESARROLLO: RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN .....</b>	<b>93</b>
7.1. Estrategias pasivas.....	94
7.1.1. Propuestas en la envolvente.....	94
7.1.1.1. Cerramientos.....	96
7.1.1.1.1. Valoración energética.....	101
7.1.1.2. Huecos .....	105
7.1.1.2.1. Valoración energética.....	109
7.1.1.3. Cubierta .....	118
7.1.1.3.1. Valoración energética.....	122
7.1.1.4. Combinación de estrategias .....	126
7.1.1.4.1. Valoración energética.....	127
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>131</b>
<b>9. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>135</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>137</b>
10.1. Bibliografía referenciada .....	138
10.2. Bibliografía consultada.....	143
<b>11. LISTADO DE FIGURAS .....</b>	<b>145</b>
11.1. Índice de figuras .....	146
11.2. Índice de tablas .....	149



## **LISTADO DE ABREVIATURAS:**

AVS.	Asociación Española de Gestores Públicos de Vivienda y Suelo
CTE.	Código Técnico de la Edificación
DB-HE.	Documento Básico de Ahorro de Energía
DoCoMoMo.	Documentación y Conservación de la arquitectura y el urbanismo del Movimiento Moderno
EECN.	Edificio de consumo de Energía Casi Nulo
GEI.	Gases de Efecto Invernadero
HULC.	Herramienta Unificada LIDER-CALENER
HVAC.	Heating – Ventilation – Air Conditioning
IAPH.	Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico
IEA.	Instituto de Estadística de Andalucía
INE.	Instituto Nacional de Estadística
LOE.	Ley de Ordenación de la Edificación
NBE-CT.	Norma Básica de la Edificación. Condiciones Térmicas en los Edificios
nZEB.	Nearly Zero Energy Building
PCM.	Material de Cambio de Fase
PVC.	Policloruro de Vinilo
RPT.	Rotura de Puente Térmico
SATE.	Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior
TFG.	Trabajo Fin de Grado
UVA.	Ultravioleta A
XPS.	Poliestireno Extruido

**RESUMEN. PALABRAS CLAVE  
ABSTRACT. KEYWORDS**

## RESUMEN. PALABRAS CLAVE:

Desde principios de este siglo XXI, diversas directivas europeas han incidido en la necesidad de intervenir en los edificios existentes para la mejora de su calificación energética, la disminución de emisiones contaminantes, así como la reducción del consumo energético hasta niveles casi nulos. En un edificio de viviendas plurifamiliares del siglo XX con interés patrimonial, seleccionado como caso de estudio, este TFG tiene como objetivo principal proponer estrategias de tipo pasivo para la mejora de su eficiencia energética compatibles con su valor patrimonial. Como método se utilizarán herramientas informáticas para la simulación energética de distintos tipos de estrategias, a partir de un análisis previo que nos permita identificar las principales deficiencias del comportamiento ambiental y energético del edificio. Dadas las limitaciones arquitectónicas, la propuesta isótropa de aislamiento por el interior con material de cambio de fase (PCM), junto con una solución anisótropa de protecciones solares, sustitución de carpinterías y ventilación nocturna, pueden llegar a producir una reducción de la demanda energética global del 68%, aproximándose a niveles de EECN.

**PALABRAS CLAVE:** Eficiencia energética – Valor patrimonial – Vivienda social – Medidas pasivas – Demanda energética – Simulación energética

## ABSTRACT. KEYWORDS:

Since the beginning of the 21st century, several European directives have highlighted the need to work on existing buildings in order to improve their energy rating, reduce polluting emissions and reduce energy consumption to nearly zero levels. The main objective of this Final Degree Project is to propose passive strategies for the improvement of energy efficiency in a 20th century multi-family housing building, selected as a case study, compatible with its heritage value. As a methodology, computer tools will be used to simulate different types of strategies, based on a previous analysis that will allow to identify the main deficiencies in the environmental and energy behaviour of the building. Due to the architectural constraints, the proposed isotropic interior insulation with phase change material (PCM) in combination with an anisotropic solar protection design, replacement of window joinery and glazing and night ventilation can lead to a reduction in the global energy demand by 68%, approaching EECN levels.

KEYWORDS: Energy efficiency – Patrimonial value – Social housing – Passive measures – Energy demand – Energy simulation



# 1

## INTRODUCCIÓN

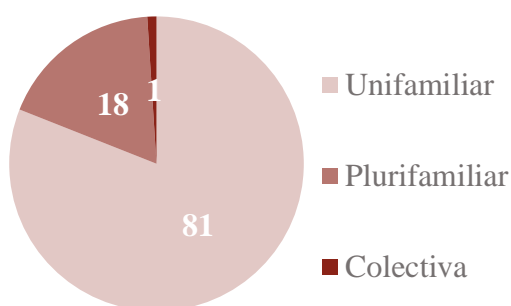
## 1.1. MOTIVACIÓN, RELEVANCIA Y OPORTUNIDAD

El interés surge por una preocupación por el cambio climático y la sostenibilidad. En el art.2 bis de la Directiva 2018/844 de la Unión Europea sobre eficiencia energética <sup>(1)</sup>, se establece la necesidad de la reducción de los gases de efecto invernadero (GEI), fundamentalmente enfocado en la edificación, entre un 80-95% para 2050 respecto de los valores de 1990:

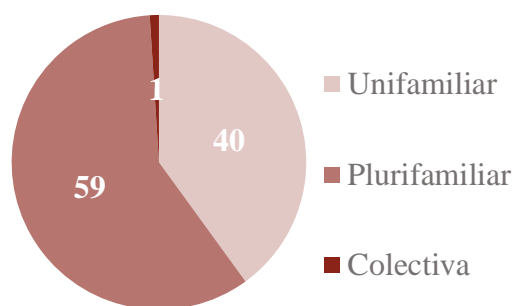
*“En su estrategia de renovación a largo plazo, cada Estado miembro establecerá una hoja de ruta con medidas e indicadores de progreso mensurables establecidos nacionalmente, con vistas al objetivo a largo plazo de 2050 de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión en un 80-95 % en comparación con 1990”*

Esto significa que, en 28 años, el parque edificado español tiene que ser rehabilitado prácticamente en su totalidad debido a su obsolescencia energética; esto es así dado que en España no existió una normativa de obligado cumplimiento sobre acondicionamiento térmico en edificios hasta 1979 con la aparición de la NBE-CT-79 <sup>(2)</sup>.

Concretamente en Andalucía, los bloques plurifamiliares constituyen el 18% del parque de viviendas existente (Fig.01), sin embargo, suponen un gran porcentaje de las viviendas andaluzas, casi el 60% (Fig.02).



**Fig. 01.** Porcentaje de edificios de uso residencial en Andalucía según su tipología  
 Fuente: IEA, 2001; Elaboración propia.

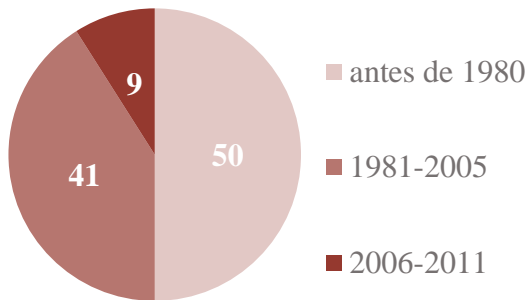


**Fig. 02.** Porcentaje de viviendas en Andalucía según tipología edificatoria  
 Fuente: IEA, 2001; Elaboración propia.

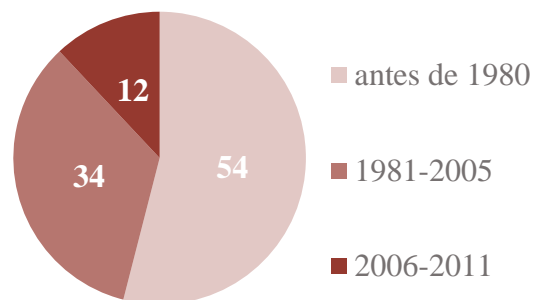
Los edificios de viviendas anteriores a 1980, que representan el 50% del parque residencial edificado (Fig.03), del cual el 54% corresponde a bloques plurifamiliares (Fig.04), ha de ser rehabilitado por estar obsoleto en términos de energía debido a la ausencia de normativa energética general anterior a esa fecha. Mientras que la otra mitad del parque residencial, posterior a 1980 (Fig.03), presenta unos déficits considerables respecto a los estándares actuales de edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB)

## 1. INTRODUCCIÓN

fijados por la actualización del DB-HE <sup>(3)</sup> de 2019 para alcanzar los objetivos europeos, ya que el 34% de los edificios plurifamiliares del parque residencial actual se construyó con la NBE-CT-79 y el 12% lo hizo con la primera versión del DB-HE, de 2006, del Código Técnico de la Edificación <sup>(4)</sup> (CTE) (Fig.04).



**Fig. 03.** Porcentaje de edificios de uso residencial en Andalucía según año de construcción.  
Fuente: INE, 2011; Elaboración propia.



**Fig. 04.** Porcentaje de edificios plurifamiliares en Andalucía según año de construcción.  
Fuente: INE, 2011; Elaboración propia.

Es decir, la mitad del parque edificatorio residencial en Andalucía se encuentra obsoleto desde el punto de vista energético por la inexistencia de una normativa de condiciones térmicas de obligado cumplimiento en el momento de su construcción, y la otra mitad es ineficiente energéticamente debido a que se realizó con una normativa muy atrasada respecto a las exigencias actuales.

En conclusión, hay que rehabilitar el parque residencial por completo, y por tanto se presenta una gran oportunidad para cambiar la dinámica contaminante de la sociedad para acercarla a los estándares medioambientales europeos.

Por esto, la rehabilitación energética ya es una labor habitual en la práctica profesional de la arquitectura. Tal es su relevancia que se están destinando una parte importante de los fondos europeos *Next Generation EU* <sup>(5)</sup> <sup>(6)</sup> para el fomento de programas de actuación con este fin, como el Plan Estatal de Vivienda 2018-2021 <sup>(7)</sup> o la Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España (ERESEE) <sup>(8)</sup>, derivados de la Directiva UE 2018/844.

Un porcentaje considerable del parque a rehabilitar presenta un valor patrimonial a tener en cuenta en los citados programas de rehabilitación. La novedad o interés de este Trabajo Fin de Grado reside principalmente en la importancia que se le quiere dar al enfoque patrimonial de la rehabilitación energética, cuando se den las condiciones apropiadas. Por ello, el caso de estudio escogido, pese a ser un edificio relativamente nuevo (segunda mitad del siglo XX), posee la variante y complejidad añadida de su valor patrimonial, aunque sin ningún grado de protección oficial.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Directiva 2012/27/UE, en su art. 5.2.a) <sup>(9)</sup>, da libertad a cada Estado miembro para aplicar la normativa de eficiencia energética en la rehabilitación de edificios patrimoniales.

*“2. Los Estados miembros podrán decidir no establecer o no aplicar los requisitos a que se hace referencia en el apartado 1 a las siguientes categorías de edificios:*

*a) edificios protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, en la medida en que el cumplimiento de determinados requisitos mínimos de eficiencia energética pudiese alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto”*

No solo los edificios catalogados o protegidos oficialmente son patrimoniales, sino que una cantidad considerable de las edificaciones existentes, y que pueden ser objeto de rehabilitación, poseen interés patrimonial. Por ejemplo, los edificios registrados en DOCOMOMO (*Documentation and Conservation of buildings, sites and neighbourhoods of the Modern Movement*) <sup>(10)</sup>.

Sin embargo, no todos estos casos presentan un grado de catalogación que los exima de cumplir con las exigencias europeas/nacionales de eficiencia energética, como sucede en el caso de estudio de este TFG. No obstante, este trabajo asume que deben ser rehabilitados conservando su valor patrimonial. Estén catalogados los edificios con interés patrimonial o no, el problema radica en que el no intervenir puede conducirlos a la obsolescencia o divergencia respecto al resto del parque residencial, lo cual puede desembocar en diversas consecuencias como un mayor coste energético, su abandono por no reunir las condiciones necesarias de habitabilidad, lo que a su vez puede generar condiciones de inseguridad ciudadana, etc.

Entre las estrategias de rehabilitación energética, en muchas ocasiones se opta por sistemas activos frente a los pasivos debido a su inmediatez y economía inicial, lo que normalmente no deriva en una reducción significativa de la emisión de gases contaminantes. En cambio, son las medidas pasivas, pese a su mayor costo de ejecución, las que a largo plazo pueden llegar a suponer un notable aporte a la sostenibilidad, principalmente mediante la reducción de la demanda y consumo energético y, en consecuencia, disminuyendo las condiciones de pobreza energética.

En el artículo de Escandón et al, 2019 sobre el impacto del cambio climático en las condiciones de confort de edificios en el sur de España, se expone que unas condiciones climáticas tan fluctuantes a lo largo del año como las del arco mediterráneo, junto con la falta de aislamiento térmico y sistemas activos centralizados en gran parte del parque edificado, hacen que los edificios sean muy sensibles a los cambios climáticos. Si, además, le sumamos la componente económica, con habitantes con bajos ingresos, la situación

## 1. INTRODUCCIÓN

desemboca en un rendimiento energético deficiente, dando lugar frecuentemente a situaciones de incomodidad térmica en el interior.

La motivación, relevancia y oportunidad del presente TFG queda resumida esquemáticamente en la siguiente figura (Fig.05):



Fig. 05. Esquema Motivación, Relevancia y Oportunidad. Fuente: Elaboración propia.

## 1.2. ALCANCE DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

Con el presente trabajo de investigación se quiere hacer un acercamiento al problema actual existente en el parque edificado en España, obsoleto o en pobreza energética, que ha de ser rehabilitado prácticamente en su totalidad.

Bajo esta premisa, se ha elegido como caso de estudio, por su interés arquitectónico, un bloque de la primera promoción construida de viviendas sociales para la Fundación Benéfico Social de Córdoba, situada en la barriada San Martín de Porres, en el Sector Sur de Córdoba. Esta promoción se considera un claro representante de la arquitectura moderna de los años 60 en España en cuanto a vivienda colectiva, reflejo de una época de reconstrucción del país con una elevada demanda de construcción y escasez de materiales.

Pertenece a la obra de Rafael de La-Hoz y es resultado de su investigación sobre la vivienda social. Es una de las muestras más antiguas e interesantes del movimiento moderno en Córdoba en el ámbito de la vivienda social. Eso le ha conducido a su registro en el IAPH (Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico) <sup>(11)</sup> y DoCoMoMo Ibérico (Documentación y Conservación de la arquitectura y del urbanismo del Movimiento Moderno) <sup>(12)</sup>, aunque sin ninguna clase de protección patrimonial catalogada.

La citada promoción se inserta en un tejido urbano determinante en el crecimiento de la ciudad, aunque por diversas circunstancias sufrió un abandono y deterioro progresivo.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a esto, se llevó a cabo una rehabilitación integral de la barriada en 2004 <sup>(13)</sup>, la cual fue objeto de mención especial en los premios AVS de 2013 <sup>(14)</sup> por la recuperación y rehabilitación de barriadas sociales y viviendas protegidas como solución urbana sostenible en el crecimiento de la ciudad.

Se pretende adoptar soluciones pasivas compatibles con el valor patrimonial del caso de estudio que supongan una reducción en la demanda energética de dichos edificios. Estas medidas se limitan a soluciones aplicadas en la rehabilitación de su envolvente y cuya efectividad se valorará a través del estudio de la demanda energética resultante.

A continuación, se reflejan las fechas claves para el contexto del caso de estudio en la siguiente línea del tiempo (Fig.06):

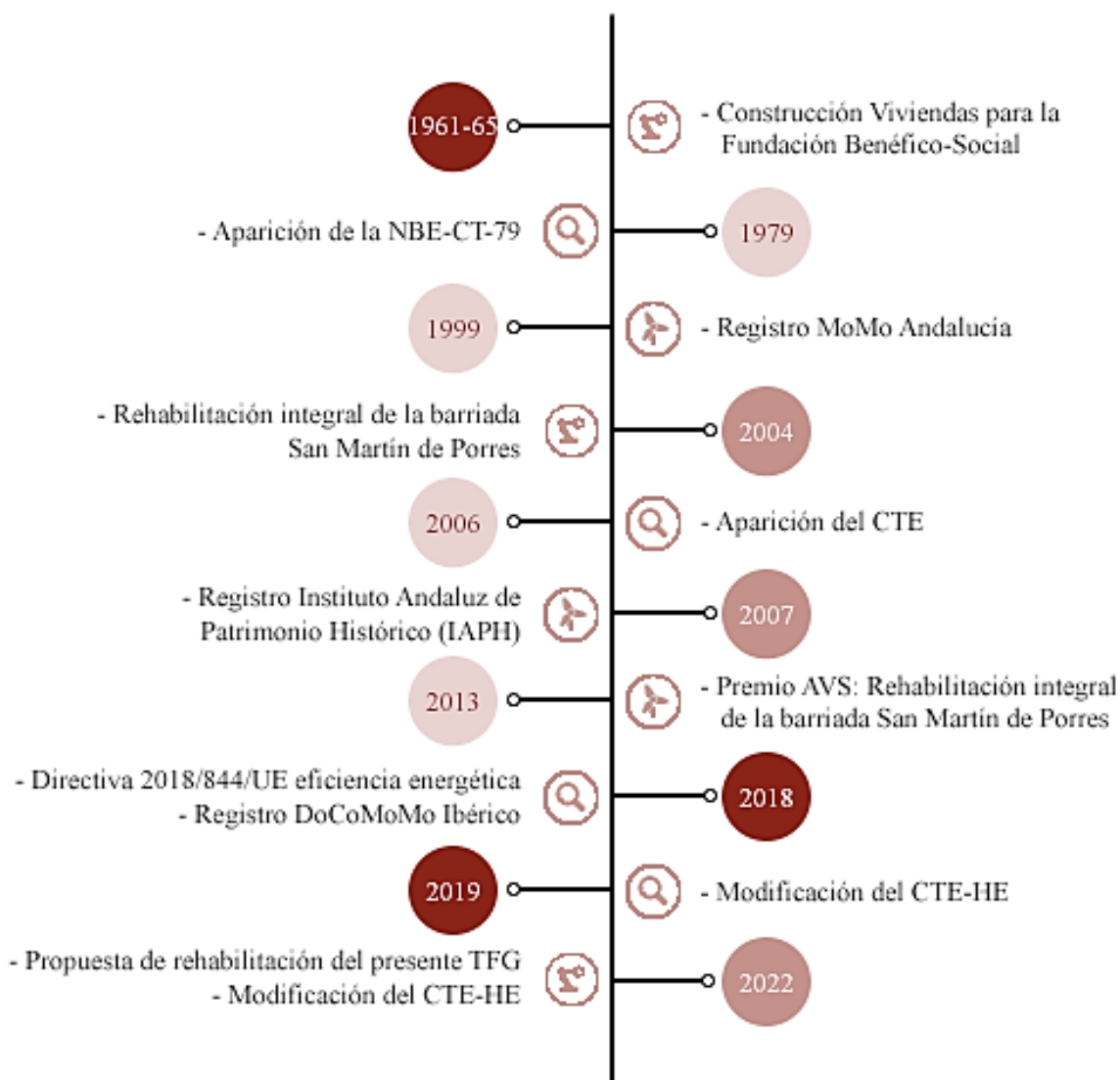


Fig. 06. Línea del tiempo de fechas clave del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

## 1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Son dos las preguntas que incentivan este TFG y a las que trata de dar respuesta la presente investigación:

- ¿Qué tipo de estrategias pasivas de rehabilitación energética se pueden realizar en un edificio de viviendas sociales que sean compatibles con su valor patrimonial o interés arquitectónico?
- ¿Pueden alcanzarse resultados próximos a edificios de consumo energético casi nulo (nZEB) aplicando este tipo de estrategias a edificios de viviendas sociales de interés patrimonial?

En numerosas ocasiones, satisfacer las necesidades básicas, en términos espaciales y energéticos, de los habitantes de este tipo de conjuntos residenciales puede estar reñido con su catalogación patrimonial y su consecuente protección. El desafío reside en el modo de resolver esta problemática, protegiendo simultáneamente los valores intrínsecos del proyecto original y los requisitos mínimos exigibles a una vivienda digna y adecuada a la actualidad.

Como se ha mencionado anteriormente, según el art.5.2.a) de la Directiva 2012/27/UE <sup>(9)</sup>, aquellos edificios que cuenten con una protección oficial por su valor patrimonial pueden quedar exentos de cumplir con las Directivas europeas de eficiencia energética si las medidas implementadas para su cumplimiento alteran el carácter de su catalogación. Nuestro caso de estudio, al no contar con ningún nivel de protección oficial, debe cumplir con dichas Directivas pese a la incompatibilidad que puede darse con la preservación de su interés patrimonial. Por este motivo, surge la segunda pregunta de investigación formulada a la que se quiere dar también respuesta.

# 2

## OBJETIVOS



## 2.1. OBJETIVO GENERAL

Las dos preguntas de investigación planteadas en el presente trabajo, a las que se quiere dar respuesta, dan lugar a un único objetivo general que se enuncia así:

- **OG1:** comprobar el grado de aproximación a edificio de consumo energético casi nulo (nZEB) que se consigue con la aplicación de determinadas estrategias pasivas compatibles con bloques de viviendas sociales de interés patrimonial.

## 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para la consecución del objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos cuyo cumplimiento permite el desarrollo de esta investigación:

- **OE1:** Caracterizar el comportamiento energético del bloque de viviendas en su estado original (1961) y en el actual (tras la reforma de 2004).
- **OE2:** Establecer estrategias pasivas a aplicar en la envolvente del edificio compatibles con su valor patrimonial.
- **OE3:** Verificar la idoneidad de estas estrategias desde un punto de vista energético, tanto individualmente como en conjunto para determinar la combinación de estrategias que supongan una mayor reducción en la demanda energética y que lo acerquen a la consideración de edificio de consumo energético casi nulo.

# 3

## ESTADO DEL ARTE

La rehabilitación energética de edificios ha cobrado especial presencia en los últimos años debido a la obsolescencia del parque existente europeo y la importancia del uso de la energía en las normativas actuales. Sin embargo, son considerables los artículos científicos, proyectos de investigación, tesis doctorales y trabajos de fin de grado publicados que abordan este tema.

El estado del arte pretende abarcar una parte importante de los principales estudios e investigaciones científicas desarrolladas en materia de rehabilitación energética y relevantes para el desarrollo del presente trabajo. El enfoque principal se centra en estrategias para la reducción de la demanda energética mediante medidas pasivas aplicadas en edificios de vivienda colectiva y edificios de interés patrimonial en clima mediterráneo español.

## 3.1. MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS DE INTERÉS PATRIMONIAL

La primera línea de investigación a enmarcar en el estado del arte es la que refleja el interés patrimonial de los edificios en rehabilitaciones energéticas. Así pues, cabe destacar una serie de principios y recomendaciones sobre patrimonio recogidas en una serie de cartas y conferencias medioambientales europeas:

- Tras la carta de Washington <sup>(15)</sup> de 1987 y la recomendación de Nairobi <sup>(16)</sup> de 1976, junto con la creciente concienciación de las nuevas demandas respecto al patrimonio debido a los cambios que afectan al hábitat humano, surgen los principios de La Valeta para la salvaguardia y gestión de las ciudades, pueblos y áreas históricas <sup>(17)</sup> en 2011. En este documento se define el patrimonio como:

*“... es fundamental considerar al patrimonio como un recurso esencial, como parte del ecosistema urbano. Este concepto debe ser respetado estrictamente para asegurar el desarrollo armónico de las ciudades históricas y sus entornos.”*

El objetivo principal es proponer principios y estrategias aplicables a toda intervención en pueblos históricos y áreas urbanas. Estos principios y estrategias están destinados a salvaguardar los valores de las ciudades históricas y su entorno, así como su integración en la vida social, cultural y económica de nuestro tiempo. Asimismo, dichas intervenciones deben asegurar el respeto a los valores patrimoniales materiales e inmateriales, así como a la calidad de vida de los habitantes.

- En la misma línea que los principios de La Valeta, en 2011 se recogieron las Recomendaciones de la UNESCO sobre el Paisaje Urbano Histórico <sup>(18)</sup>. En ella se propone una nueva aproximación a la conservación de los conjuntos urbanos históricos, cuyo elemento central es el concepto de paisaje urbano histórico. El paisaje urbano histórico supone la adaptación de la conservación del patrimonio urbano a los requerimientos de la sostenibilidad, y un avance hacia la consideración integrada de los diversos tipos de patrimonio y sus relaciones. Este concepto se propuso como una respuesta a los nuevos problemas que afrontan la conservación de los conjuntos históricos, sin embargo, este término permite integrar numerosos aspectos diversos, tantos que son difíciles de precisar y aplicar:

“Se entiende por paisaje urbano histórico la zona urbana resultante de una estratificación histórica de valores y atributos culturales y naturales, lo que trasciende la noción de “conjunto” o “centro histórico” para abarcar el contexto urbano general y su entorno geográfico”.

Por ello, en 2015 se redactó el Informe sobre la aplicación por los Estados Miembros de la Recomendación de 2011 sobre el Paisaje Urbano Histórico <sup>(19)</sup>, mediante el que se pretendía promover y desarrollar la aplicación de dicha Recomendación y la utilidad del concepto de Paisaje Urbano Histórico. Se demostró que la aplicación de este término en las políticas de desarrollo del territorio permite dar respuesta a la problemática de la gestión y conservación del patrimonio urbano en todas sus formas.

A continuación, se recogen diversos artículos e investigaciones científicas sobre la misma línea temática tratada en este apartado que son de referencia para el presente TFG:

- Dentro de esta línea se enmarcaría uno de los trabajos científicos cuya investigación es desarrollada por *Gómez Villa, J. L. (2019)* <sup>(20)</sup>, coordinador del proyecto *re-HABITAR*. Este proyecto se basa en la rehabilitación para la conservación patrimonial de la barriada de El Carmen en Sevilla, cuyos edificios datan de la década de 1950 pertenecientes al Movimiento Moderno. La finalidad del proyecto está orientada hacia el conocimiento de las arquitecturas del Movimiento Moderno, en concreto de la vivienda colectiva y social, para definir los criterios de actuación de acuerdo con la preservación de los valores patrimoniales. Se adoptaron medidas en varios ámbitos, sociales, documentales, urbanísticos, de accesibilidad y medioambientales, para mejorar las condiciones de habitabilidad y confort de los vecinos, así como el comportamiento energético de las viviendas. Respecto a las medidas energéticas, se plantearon nueve estrategias de rehabilitación de la envolvente, las cuales producen una reducción de la demanda energética global hasta 27% al año y hasta 21% en emisiones de CO<sub>2</sub>. El caso de estudio es muy similar al del presente TFG, puesto que ambos parten con la limitación de no intervenir ni por el exterior de la fachada, para no alterar el valor patrimonial del conjunto residencial, ni por el interior, para no reducir la ya escasa superficie útil de las viviendas. Por lo tanto, dichas estrategias se basaron en la inyección de poliuretano en la cámara de aire de los cerramientos, el aislamiento por el exterior en cubierta y la sustitución de las carpinterías existentes por unas de aluminio con rotura de puente térmico y vidrios doble bajo emisivos al norte.
- En el siguiente estudio, *Ascione, F., De Masi, R. F., De Rossi, F., Ruggiero, S. y Vanoli, G. P. (2017)* <sup>(21)</sup>, plantearon si es factible la posibilidad de conseguir mejorar un edificio histórico hasta el punto de convertirlo en edificio de consumo de energía casi nulo, en este caso el Palacio Gravina en Nápoles utilizado como universidad en la actualidad. Para conseguir el objetivo, se creó un modelo virtual y se analizaron las posibles intervenciones tanto en la envolvente como en las instalaciones, evaluándose también los costes económicos de las actuaciones. Escogiendo la intervención de coste óptimo, se consiguió reducir el consumo del edificio en un 59 %, únicamente sustituyendo las ventanas por unas de baja emisividad y reemplazando la caldera.

- Otro artículo sobre esta línea temática es el publicado por *Blázquez, T., Ferrari, S., Suárez, R. y Sendra, J.J. (2019)* <sup>(22)</sup>, el cual fue motivado por la obsolescencia energética que presentan muchos de los edificios construidos durante el Movimiento Moderno en el sur de Europa, como es el caso de estudio del presente TFG. Esta investigación se centró en evaluar el potencial de mejora de las condiciones de confort y eficiencia energética en los edificios residenciales del patrimonio mediterráneo. Dicho potencial es comprobado mediante la incorporación de estrategias pasivas acordes con la preservación de sus valores patrimoniales y analizado a través de la monitorización in situ, simulación energética y ecuaciones de confort. Las estrategias pasivas consideradas fueron el aislamiento térmico en las cámaras de aire de los cerramientos, el cambio de carpinterías y la optimización del acristalamiento de las ventanas y el establecimiento de tasas regulares de ventilación mecánica. Se obtuvo una mejora general del rendimiento energético tras las estrategias incorporadas, siendo más notable la reducción de la demanda energética, llegando a 47%, que la mejora de las condiciones de confort, que varían entre 20-40% en invierno y 35-50% en verano.
- Por último, en el artículo de *Webb, A.L. (2017)* <sup>(23)</sup> se aborda la problemática de las intervenciones en rehabilitación energética cuando son aplicadas en edificios con valores patrimoniales. En esta publicación se revisaron los criterios, los métodos de análisis y los procesos de toma de decisiones utilizados para evaluar la rehabilitación energética de los edificios históricos y tradicionales. Se demostró que la rehabilitación energética no es únicamente una manera de reducir el consumo de energía, sino también un medio para la preservación de estos edificios; siendo la reducción del consumo energético el criterio dominante.

## 3.2. MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN VIVIENDA COLECTIVA

La otra línea de investigación que resulta de interés mencionar es la implantación de estrategias pasivas en la envolvente de edificios de vivienda colectiva para la reducción de la demanda energética. Primeramente, y del mismo modo que en el apartado anterior, es procedente enmarcar una serie de cartas y acuerdos sobre la sostenibilidad de las ciudades europeas:

- En 1994, la Conferencia Europea sobre Ciudades y Pueblos Sostenibles realizada en Aalborg, Dinamarca, culminó con la Carta de las ciudades europeas hacia la sostenibilidad o Carta de Aalborg <sup>(24)</sup>. Esta carta instaba a los gobiernos europeos locales a la realización de la Agenda 21 Local como eje vehicular para el desarrollo de los planes de acción locales y para avanzar hacia la sostenibilidad de las ciudades y pueblos europeos, ya que se identificó a las ciudades como responsables de muchos de los problemas ambientales:

*“Comprendemos que nuestro actual modo de vida urbano, en particular nuestras estructuras de división del trabajo y de las funciones, la ocupación del suelo, el transporte, la producción industrial, la agricultura, el consumo y las actividades de ocio, y por tanto nuestro nivel de vida, nos hace especialmente responsables de muchos problemas ambientales a los que se enfrenta la humanidad. Este hecho es especialmente significativo si se tiene en cuenta que el 80% de la población europea vive en zonas urbanas.”*

Numerosas ciudades se comprometieron de este modo a seguir una serie de directrices en cuanto a sostenibilidad ambiental, social y económica, en ámbitos tales como movilidad, edificación y planificación urbana, energía y gestión de residuos, desde una perspectiva participativa. De este modo, se aspiraba a aumentar la concienciación y a resaltar la necesidad de que los gobiernos locales de toda Europa actúen de forma integrada para hacer frente a los crecientes retos en materia de sostenibilidad.

- Dando continuidad a esta línea de trabajo centrada en la sostenibilidad de las ciudades europeas, diversos documentos han sido acordados en las numerosas Reuniones Informales de Ministros, como fue la Carta de Leipzig <sup>(25)</sup> en 2007. Esta Carta estableció los principios de sostenibilidad, integralidad y participación ciudadana como base para del desarrollo urbano del futuro, incluyendo dos grandes ejes de recomendaciones:

1. Hacer un mayor uso de los enfoques relacionados con la política integrada de desarrollo urbano, entendiendo por tales aquellas donde se coordinan los aspectos espaciales, sectoriales y temporales de las áreas clave de la política urbana. Dichas estrategias son la creación y consolidación de espacios públicos de alta calidad, la modernización de las redes de infraestructuras y la mejora de la eficiencia energética, innovación proactiva y políticas educativas.

*“La eficiencia energética de los edificios ha de mejorarse. Esto atañe tanto a los edificios existentes como a los de nueva planta. La renovación del parque de viviendas puede tener un impacto importante en la eficiencia energética y en la mejora de la calidad de vida de los residentes.”*

2. Prestar especial atención a los barrios menos favorecidos dentro del contexto global de las ciudades, impulsando actuaciones integradas que conjuguen la mejora del medio ambiente físico, con el impulso local a la economía y el empleo, la cohesión e inserción social y el fomento de un transporte urbano eficiente y asequible.

A continuación, cabe destacar las distintas publicaciones y estudios relevantes para el presente TFG realizados en el ámbito en el que se enmarca este apartado:

- El ritmo de renovación de edificios existentes es un tema clave para alcanzar los objetivos europeos fijados para 2030. La mayoría del parque de viviendas europeo sigue necesitando actualización, ya que su rendimiento está lejos de cumplir con los estándares energéticos actuales. El establecimiento de una estrategia eficaz para cumplir dichos objetivos de eficiencia energética en el sector de la vivienda requiere un conocimiento exhaustivo del déficit energético de los edificios existentes antes de aplicar las estrategias de rehabilitación adecuadas. No es

### 3. ESTADO DEL ARTE

posible disponer solo de un catálogo de soluciones o establecer unas intervenciones genéricas, es necesario particularizar cada caso de estudio. Como se llevó a cabo en el artículo de *J. Fernández-Agüera, A. S. y Sendra, J. J. (2014)* <sup>(26)</sup>, el cual forma parte de una investigación mayor en la que se evalúan estrategias energéticas de rehabilitación de edificios de viviendas. Dicha investigación está encaminada a poder establecer criterios para la intervención en estas edificaciones, tales como la zona climática de su ubicación, morfología de los edificios y sus características constructivas y valores patrimoniales. A pesar de tratarse de una zona climática, unas características constructivas y patrimoniales que difieren del caso de estudio de este TFG, se recoge la relevancia de minimizar las tasas de flujo con sistemas de ventilación de aire ajustable y la sustitución de las carpinterías de las ventanas como responsable de un elevado porcentaje de las necesidades energéticas.

- Muchas investigaciones se han centrado en esta tarea de evaluación energética, tanto a macroescala como pormenorizadamente. Sin embargo, encontrar datos reales y resultados precisos requieren multitud de parámetros que no siempre están disponibles para el público. Por lo tanto, este tipo de evaluaciones deben basarse en muestras representativas de edificios del parque analizado, simplificando las características arquitectónicas, constructivas y energéticas más significativas a diferentes escalas. Con este enfoque, el presente trabajo de investigación se puede concebir como una aportación y complementación a esta línea de investigación ascendente de la evaluación energética del parque edificado al sur de Córdoba, como se refleja en la investigación de *Blázquez, T. Suárez, R. Ferrari, S. Sendra, J.J. (2021)* <sup>(27)</sup>. En dicha investigación se estableció un protocolo de actuación de mejoras energéticas aplicado a las promociones de viviendas públicas del sur de Córdoba (clima mediterráneo B4), construidas durante el periodo de expansión de la ciudad entre 1951-80. El propósito era reflejar el potencial de mejora energética del parque inmobiliario y permitir extrapolar dichas actuaciones de mejora a otros parques edificatorios. El potencial de mejora se obtuvo mediante la comparación de los modelos energéticos del estado anterior a la rehabilitación y el estado actualizado con las estrategias pasivas incorporadas. Estas mejoras incluyeron una mejora general de la envolvente térmica de los edificios, la renovación constante y controlada del aire, la disipación térmica nocturna y el control solar mediante: la inyección en cámara de aire de poliuretano en fachada y losa filtrante en cubiertas, acristalamiento doble 4-16-6 con acabado de baja emisividad al norte y de control solar al sur, carpinterías de PVC tipo 4 y un sistema de ventilación higrorregulable. Con esto se redujo un 30% las emisiones de CO<sub>2</sub> y la calificación energética no fue inferior a la categoría E, perteneciendo a esta el 97,1% de los edificios. La transposición de la propuesta global a la muestra de estudio supuso una reducción del 25% de emisiones de CO<sub>2</sub>, una reducción de un nivel en la calificación energética entre el 3% de los edificios de los años 50 (de F a E) y en el 3% de los edificios del resto de la muestra (de E a D). Además, se obtuvieron disminuciones del 36,5% y del 43,5% en las demandas anuales de calefacción y refrigeración, respectivamente. Todos estos resultados variaban dependiendo de factores relevantes como la compactidad, tipología, y orientación de los edificios.
- Un proyecto relacionado con la línea de investigación del presente trabajo es Proyecto Eficacia, de *Sendra Salas, Juan José, Domínguez Amarillo, Samuel,*

*León Rodríguez, Angel Luis, Navarro Casas, Jaime, Muñoz Muñoz, Manuel Salvador. (2011)* <sup>(28)</sup>. Este proyecto, mediante la monitorización y simulación informática del edificio Cross-Pirotecnica de Sevilla, estudió la optimización de la demanda energética de edificios de vivienda colectiva. Tras el análisis de las variables ambientales, se realizaron simulaciones basadas en medidas pasivas y activas. Dentro de las pasivas se plantearon distintos tipos de fachada, cubierta y huecos, las protecciones solares fijas, la influencia de la inercia térmica y los puentes térmicos. Respecto a las medidas activas se manejaron las protecciones solares móviles y la ventilación controlada. La combinación de la mejor hipótesis supuso una reducción de demanda energética del 66%, la cual fue: fachada con SATE + protecciones solares fijas + ventana doble acristalamiento + cubierta invertida + persianas programadas según orientación + ventilación optimizada.

- A continuación, un par de publicaciones en la revista *Energies* sobre el edificio tratado en el proyecto anterior, el Proyecto Efficacia:

1. *León, Ángel L., Domínguez, Samuel, Campano, Miguel A., y Ramírez-Balas, Cristina. (2012)* <sup>(29)</sup> trataron de determinar la influencia de las protecciones solares fijas en combinación con protecciones móviles en viviendas públicas de clima mediterráneo para la reducción de su demanda energética, según geometría, orientación, grado de abertura y dimensiones, llegando a suponer una reducción entre 10-27%.

2. El siguiente artículo de *Domínguez, Samuel, Sendra, Juan J., León, Angel L, y Esquivias, Paula M. (2012)* <sup>(30)</sup> tenía como finalidad demostrar la posibilidad de reducir la demanda energética mediante la actuación en la envolvente de edificios de vivienda social, considerando envolvente como cubierta, fachada y ventanas. El caso de estudio de esta investigación presentaba unas condiciones de partida distintas del caso de estudio del presente TFG, ya que se trataba de un bloque de viviendas en Sevilla, construido en 2004 antes de la entrada en vigor del CTE. Tras la propuesta de sistemas para fachada, cubierta y huecos de ventana se llega a reducir hasta un 30% de la demanda energética total del edificio, únicamente con soluciones pasivas en la envolvente térmica, sin la implementación de sistemas de HVAC.

- Otro artículo científico de referencia es *Suárez, R., Fragoso, J. (2016)* <sup>(31)</sup>. En esta publicación se estudió la influencia en la demanda energética y las emisiones de CO<sub>2</sub> de determinadas soluciones pasivas en la rehabilitación energética de un edificio plurifamiliar ubicado en la zona climática mediterránea B4. Se analizaron cada una de las estrategias llevadas a cabo, tanto por separado como en combinación. Dichas estrategias estaban asociadas a: la compactidad, cuyo aumento disminuye la demanda energética; la materialidad de la envolvente, vinculada a la demanda de calefacción y refrigeración; el control solar mediante protecciones móviles, que garantizan un adecuado funcionamiento en verano e invierno; la acumulación solar mediante la envolvente para incrementar la inercia térmica del edificio; y la ventilación, actuando sobre los vidrios y carpinterías para reducir infiltraciones y la tasa de ventilación. Todas estas medidas permitieron conseguir reducciones importantes de la demanda energética, emisiones de CO<sub>2</sub> y mejorar el confort térmico interior.



### 3. ESTADO DEL ARTE

- Dentro de esta línea se enmarcaría una tesis doctoral cuya investigación fue desarrollada por *Blázquez de Pineda, M.T. (2019)* <sup>(32)</sup>. En esta tesis se estableció un protocolo de análisis aplicado al parque edificado de vivienda social entre 1950-1980 en Córdoba. Se centró principalmente en tres barriadas de este tipo edificatorio del arquitecto Rafael de La-Hoz, el cual fue representante del Movimiento Moderno en este ámbito residencial. Este análisis tenía como objeto cuantificar la mejora que estos edificios pudieran obtener si se aplicaban estrategias pasivas estándar de rehabilitación energética. Éstas fueron el aislamiento térmico en fachada (inyección de poliuretano en cámara de aire de 5cm) y cubierta (losa filtrante de 6 cm en cubiertas planas y panel sándwich de 8 cm en cubiertas inclinadas), mejora de vidrios (UVA 4-16-6 bajo emisivo en orientaciones septentrionales y UVA 4-16-6 control solar en el resto de orientaciones), mejora de carpinterías (carpintería abatible tipo 4 según UNE-EN 12207 con una permeabilidad de 3 m<sup>3</sup> /h/m<sup>2</sup> bajo 100 Pa) y la incorporación de un sistema de ventilación higrorregulable de caudal variable. Se alcanzó una reducción del 30 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> y un 40 % de la demanda anual de energía primaria.
- También cabe destacar el TFG de *Muñoz Rodríguez, J. (2016)* <sup>(33)</sup>. En este trabajo se implantó una jerarquización de medidas pasivas de rehabilitación energética en la envolvente de una vivienda social de 1967, en una barriada de Sevilla. El fin era mejorar la calificación energética. Se llegó a la conclusión que un sistema de aislamiento por el exterior (SATE) reducía la demanda energética un 37,5% y un aislamiento interior un 30,4%. La cubierta no supuso mucha influencia por representar un pequeño porcentaje de la envolvente. La sustitución de la carpintería existente por una con RPT y vidrio doble 4-6-4 de baja emisividad supuso una reducción del 21,7%.
- Para terminar, se recoge un artículo sobre la implantación de un material de cambio de fase (PCM) en estrategias pasivas de refrigeración en edificios: *Lizana-Moral, J., de-Borja-Torrejón, M., Barrios-Padura, Á., Auer, T. y Chacartegui, R. (2019)* <sup>(34)</sup>. El objetivo de esta investigación es identificar los principales criterios de diseño para la implementación óptima de las soluciones basadas en PCM analizando el rendimiento energético mediante un estudio paramétrico. Se evaluaron dos soluciones alternativas de implementación del PCM: una aplicación pasiva convencional basada en una capa de PCM, fijada en el techo en contacto con el espacio interior y una aplicación optimizada de una capa de PCM integrada en el interior del falso techo. En un edificio plurifamiliar tomado como referencia para la implementación de dichas medidas, la solución convencional redujo las horas de incomodidad un 20%, mientras que la solución optimizada basada en PCM pudo reducirlas un 65%, y hasta un 83% mediante mejoras adicionales para aumentar la transferencia de calor entre el PCM y el aire.

# 4

MARCO NORMATIVO

## 4.1. MARCO LEGAL EUROPEO

Con el fin de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, la Unión Europea establece una serie de directivas de impacto ambiental. Esta preocupación, tratada por primera vez en 1968 con la Conferencia sobre la Biosfera de la UNESCO <sup>(35)</sup>, conllevó a numerosas cumbres y acuerdos tales como el informe Brundtland <sup>(36)</sup>, conocido especialmente por la definición de desarrollo sostenible:

*“Aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones.”*

A partir de este informe, cabe destacar el Protocolo de Kioto <sup>(37)</sup>, en 1997 cuyo fin era la limitación y reducción de los gases de efecto invernadero (GEI) al menos en un 5%, aunque la UE se comprometió a elevar esa reducción al 8%. Asimismo, en el Acuerdo de París <sup>(38)</sup>, en 2015 se acordó limitar el aumento del calentamiento global reduciendo progresivamente la producción de emisiones GEI. Concretamente, la UE se propuso reducir sus emisiones un 50% en 2050 y llegar a su eliminación en 2100 <sup>(39)</sup>.

Para la consecución de estos objetivos se han redactado diversas normativas europeas, específicamente las Directivas de Eficiencia Energética en Edificios, dado que esta problemática se encuentra estrechamente vinculada con la edificación, ya que el sector residencial supuso el 27% del consumo energético europeo en 2010 <sup>(40)</sup>. Estas directivas establecen diversos requisitos y obligaciones a cumplir por los estados miembros, sobre los cuales recae la elaboración de leyes de carácter nacional con el fin de alcanzar los objetivos planteados. Entre estas directivas cabe destacar:

- Directiva 93/76/CEE <sup>(41)</sup>, en 1993 fue la primera directiva aprobada cuyo objetivo se basaba en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> utilizando la edificación como medio para dicho fin. Surgió el documento denominado “certificación energética”, el cual fue derogado por la Directiva 2006/32/CE <sup>(42)</sup>.
- Directiva 2002/91/CE <sup>(43)</sup>, basada en el Protocolo de Kioto y aprobada en 2002, fue la primera en la que realmente se abordó el comportamiento energético de los edificios. Esta directiva propuso la mejora de dicho comportamiento, apareciendo por primera vez la obligatoriedad de la calificación energética, cuyo objetivo era la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para ello, se estableció un sistema de cálculo de eficiencia energética, un indicador de emisiones de CO<sub>2</sub>, unos umbrales mínimos de eficiencia energética y su correspondiente certificado energético.
- Directiva 2010/31/UE <sup>(44)</sup>, cuyo objetivo fue desarrollar la anterior directiva, definiendo los parámetros mínimos a implementar en el cálculo de la eficiencia energética de los edificios, tales como la capacidad térmica, el aislamiento, la calefacción pasiva, los elementos de refrigeración y los puentes térmicos. Además, se estableció que todos los edificios de nueva planta fuesen de consumo casi nulo (nZEB) a partir de 2020.
- Directiva 2012/27/UE <sup>(9)</sup>, estableció una globalización de medidas energéticas dentro de la Unión Europea encaminadas a cumplir los objetivos conocidos como H2020. Respecto a los valores de 1990, dichos objetivos consistían en: la reducción del 20% de las emisiones GEI; el aumento, al menos, del 20% de la

energía proveniente de fuentes renovables del total de la producción energética; la reducción del consumo energético del 20% mediante una mayor eficiencia energética y cubrir el 10 % de las necesidades del transporte de cada país con biocombustibles; todo ello antes del 2020.

- Directiva 2018/844/UE <sup>(1)</sup>, además de modificar las dos directivas anteriores, fijó el objetivo de la descarbonización de todos los edificios para 2050. Concretamente, en el preámbulo de esa Directiva se indica que casi el 50% del consumo energético de la Unión Europea se debe a sistemas activos de climatización, de la cual el 80% deriva de los edificios. Por consiguiente, en el artículo 2.bis se habla sobre la reducción de los gases de efecto invernadero, fundamentalmente enfocada en la edificación, entre 80-95% en 2050 respecto a los valores de 1990.

## 4.2. MARCO LEGAL NACIONAL

La translación de estas Directivas Europeas sobre Eficiencia Energética de Edificios al marco normativo español ha instigado el desarrollo de distintos planes y estrategias para facilitar la implantación de estas medidas, tales como el Plan Nacional de Acción para la Eficiencia Energética 2017-2020 (PNAEE) <sup>(45)</sup>, derivado de la Directiva 2012/27/UE, al cual le siguió el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC) <sup>(46)</sup>; o la, ya nombrada anteriormente, Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España (ERESEE) <sup>(8)</sup>, derivada de la Directiva 2018/844/UE, para cumplir los objetivos europeos de eficiencia energética y descarbonización para 2050 mediante la renovación del parque edificatorio en España.

El fomento de estos programas de intervención debe ir acompañado de medidas económicas que faciliten estas actuaciones de rehabilitación, como el Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios existentes del sector Residencial (PAREER) del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) <sup>(47)</sup>, estableciendo un programa de dotaciones y ayudas de financiación con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de los edificios de vivienda.

Por otro lado, la Estrategia Nacional Contra la Pobreza Energética 2019-2024 <sup>(48)</sup>, cuya meta es alcanzar un modelo energético sostenible, trata de mitigar los efectos influyentes sobre la pobreza energética como los ingresos económicos del hogar y la ineficiencia energética de la vivienda.

Para terminar, el vigente Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) <sup>(49)</sup>, aprobado en 2021 por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, ha sido promovido por el desarrollo de los fondos europeos de recuperación conocidos como *NextGenerationEU* <sup>(50)</sup>. El motivo de este Plan, así como la inversión de dichos fondos de financiación, es contribuir a reparar los daños económicos y sociales causados por la pandemia de la Covid-19 y avanzar hacia una España más ecológica, digital, cohesionada social y territorialmente e igualitaria.

Todos estos planes y programas de actuación están fundamentados en la transposición de las exigencias europeas a la normativa nacional reflejadas en las siguientes normas y leyes de obligado cumplimiento:

#### 4. MARCO NORMATIVO

- Código Técnico de la Edificación. Exigencias Básicas de Ahorro Energético (CTE-HE) <sup>(4)</sup>. El CTE, de acuerdo con la LOE <sup>(51)</sup>, es el documento normativo de mayor importancia en este ámbito. Su entrada en vigor en 2006 estableció las limitaciones del consumo energético de los edificios y el rendimiento de sus instalaciones, incrementando el uso de energías renovables. Este documento conllevó una mejora significativa de las prestaciones térmicas de los edificios, quedando obsoleta la primera norma en regular las condiciones térmicas de los edificios, la derogada Norma Básica de la Edificación de 1979 (NBE-CT-79) <sup>(2)</sup>.
- Reglamento de Instalaciones Térmica en los Edificios (RITE) <sup>(52)</sup>. En 2007 surgió este documento como medida para fomentar la seguridad, la eficiencia energética y el uso de energías renovables enfocadas a las instalaciones térmicas de los edificios.
- Procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios <sup>(53)</sup>. Desde 2013 se pretendía fomentar la certificación energética siendo exigida en trámites de compraventa de edificios y en la construcción de nuevos. Dicho documento fue modificado hasta el actual de 2021 <sup>(54)</sup>.
- Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana <sup>(55)</sup>. Esta ley, cuya última modificación fue en 2022, tuvo como objetivo fomentar la rehabilitación y regeneración de edificios y tejidos urbanos existentes. Con ello, se pretendía mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, dignificando las viviendas y promoviendo así un urbanismo sostenible y eficiente.
- Las modificaciones del CTE-HE, la última y vigente actualización, la de 2022 <sup>(56)</sup>. Este documento ha sido revisado y actualizado desde su aparición en 2006 para alcanzar y cumplir con las progresivas exigencias de las directivas europeas, concretamente la Directiva 2010/31/UE y la Directiva 2018/844/UE. Por ello, en 2013 apareció la sección HE-0 en la que se estableció la limitación del consumo energético de los edificios, según el uso y la zona climática a la que pertenezca, cubriendo la mayor parte de dicho consumo mediante energías renovables. En 2019 se modificaron las secciones HE-0 y HE-1, incorporando el límite del consumo de energía primaria total del edificio y estableciendo nuevos parámetros característicos de la envolvente para el cálculo de la demanda energética. Éstos fueron el control solar, el coeficiente global de transmisión de calor del edificio y valores más exigentes de las transmitancias térmicas. En las demás secciones, también se incrementaron los valores respecto a la generación mínima de energías renovables y condiciones de las instalaciones. Por último, en la actualización de 2022 cabe destacar la aparición de la sección HE-6 destinada a las dotaciones mínimas para la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos.

## 4.3. MARCO LEGAL AUTONÓMICO

En el marco andaluz, se aprobó en 2013 el Reglamento de Fomento de las Energías Renovables, el Ahorro y la Eficiencia Energética de Andalucía <sup>(57)</sup>, derivado del Real Decreto Ley 235/2013 a nivel nacional mencionado anteriormente sobre el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

Asimismo, en 2014 se redactó el Programa de Impulso a la Construcción Sostenible en Andalucía <sup>(58)</sup>, cuyo objetivo es propiciar la rehabilitación energética de la vivienda para estimular el desarrollo la construcción sostenible. Su finalidad es minimizar el consumo energético del parque edificado, reduciendo de este modo el coste económico de los usuarios destinado a este motivo y mejorando el confort de los habitantes.

Actualmente, con la inversión de los fondos *NextGenerationUE*, en 2021 se regularon las subvenciones a otorgar a actuaciones de rehabilitación energética en edificios existentes enmarcados en el Programa de rehabilitación energética para edificios existentes en municipios de reto demográfico (PREE 5000) <sup>(59)</sup>, enmarcado en el programa nacional PRTR referenciado anteriormente.

# 5

## METODOLOGÍA

## 5.1. METODOLOGÍA

Fundamentalmente la metodología se basa en la aplicación de simulación energética, utilizando una herramienta informática oficialmente reconocida, como es la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC). Esta herramienta posibilita una aproximación energética al edificio, mediante la obtención de resultados esperados de demanda energética, consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>, junto con su respectiva calificación energética.



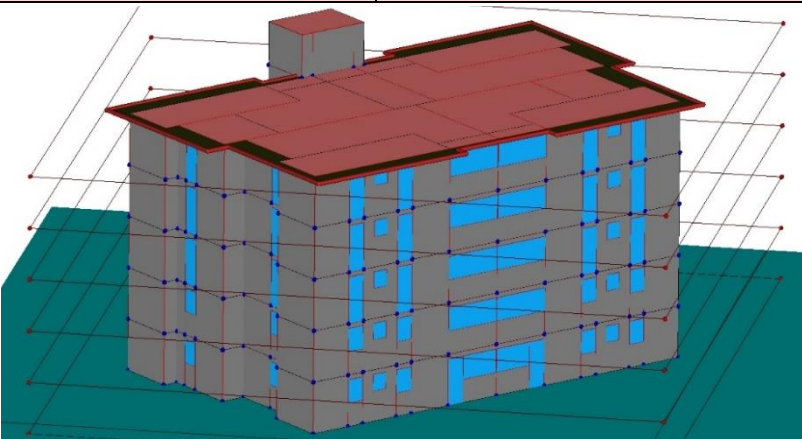
Primeramente, se establece un catálogo de estrategias pasivas asociadas a la envolvente que sean compatibles con el valor patrimonial del caso de estudio. A continuación, se aplica la simulación energética mediante HULC para obtener una valoración del comportamiento energético de dichas soluciones y, consecuentemente, determinar el grado de aproximación a nZEB.

Para el desarrollo de la metodología se han diferenciado tres estados o modelos para analizar (Tab.01):

- El Estado Original (EO). Corresponde al bloque construido en 1961 según el proyecto de Rafael de La-Hoz, sin ninguna normativa térmica existente, para entender la situación energética de origen del caso de estudio.
- El Estado Actual (EA). Es el edificio tal y como se encuentra en la actualidad tras la reforma de 2004, ejecutada antes del CTE bajo la normativa NBE-CTE 79. Permite conocer los resultados energéticos que se consiguieron con dicha reforma y tener el punto de partida para las estrategias a proponer en esta investigación.
- El Estado Propuesta (EP). Hace referencia al modelo energético resultante tras el establecimiento de las mejoras pasivas implementadas en el presente trabajo, acordes con la actualización de 2019 del DB-HE del CTE. Pretende determinar el grado de aproximación a nZEB.



5. METODOLOGÍA

<p><b>ESTADO ORIGINAL</b></p>	<p>Año: 1961</p>	<p>Normativa: Ninguna</p>
<p><b>Fig. 07.</b> Bloque de viviendas para la Fundación Benéfico Social, C/ Torremolinos, Córdoba, 2008.                  Fuente: Google Maps, Street View, sept 2008.</p>		
<p><b>ESTADO ACTUAL</b></p>	<p>Año: 2004 (Reforma)</p>	<p>Normativa: NBE-CTE-79</p>
<p><b>Fig. 08.</b> Bloque de viviendas para la Fundación Benéfico Social, C/ Torremolinos, Córdoba, 2014.                  Fuente: Google Maps, Street View, feb 2014.</p>		
<p><b>ESTADO PROPUESTA</b></p>	<p>Año: 2022</p>	<p>Normativa: CTE 2019 (nZEB)</p>
<p><b>Fig. 09.</b> Bloque de viviendas para la Fundación Benéfico Social, C/ Torremolinos, Córdoba, simulación informática en HULC.                  Fuente: HULC; Elaboración propia.</p>		

**Tab. 01.** Estados a diferenciar en la aplicación de la metodología. Fuente: Elaboración propia

## 5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS

En cada estado diferenciado se establecen una serie de tareas a realizar para el desarrollo de la metodología empleada y, consecuentemente, cumplir con los objetivos establecidos para poder dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas en el presente TFG. En la Tab.02 se presenta un resumen de dichas tareas para cada uno de los estados establecidos en la metodología:

T1. ESTADO ORIGINAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>1.1. Levantamiento del edificio y sistemas constructivos</li> <li>1.2. Definición de la envolvente y patrones de uso</li> <li>1.3. Simulación energética</li> <li>1.4. Análisis de los resultados. Caracterización energética del edificio</li> </ul>
T2. ESTADO ACTUAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>2.1. Levantamiento del edificio y sistemas constructivos</li> <li>2.2. Definición de la envolvente y patrones de uso</li> <li>2.3. Simulación energética</li> <li>2.4. Análisis de los resultados. Caracterización energética del edificio</li> </ul>
T3. ESTADO PROPUESTA
<ul style="list-style-type: none"> <li>3.1. Definición de estrategias pasivas en la envolvente                             <ul style="list-style-type: none"> <li>3.1.1. Soluciones aplicadas en Cerramientos</li> <li>3.1.2. Soluciones aplicadas en Huecos</li> <li>3.1.3. Soluciones aplicadas en Cubierta</li> </ul> </li> <li>3.2. Simulación energética                             <ul style="list-style-type: none"> <li>3.2.1. Valoración soluciones aplicadas en Cerramientos</li> <li>3.2.2. Valoración soluciones aplicadas en Huecos</li> <li>3.2.3. Valoración soluciones aplicadas en Cubierta</li> </ul> </li> <li>3.3. Combinación de estrategias</li> <li>3.4. Simulación energética de las combinaciones</li> <li>3.5. Análisis de los resultados. Grado de aproximación a nZEB</li> </ul>

**Tab. 02.** Plan de tareas a realizar en la metodología establecida. Fuente: Elaboración propia.

## 5. METODOLOGÍA

La **Tarea 1 (T1)** está vinculada con el primer modelo establecido, el Estado Original (EO), donde se lleva a cabo el estudio energético asociado al edificio de 1961:

- 1.1. Levantamiento del edificio y sistemas constructivos.** Mediante la literatura científica y planimetría consultada en bibliografía sobre el caso de estudio, se recopila la caracterización necesaria para su correcto levantamiento: geometría, replanteo, orientación, estructura, composición de cerramientos, forjados, cubierta, huecos y elementos de sombra.
- 1.2. Definición de la envolvente y patrones de uso.** Se determina el perímetro de la envolvente térmica según los usos establecidos en el interior del edificio (habitabile/no habitabile, acondicionado/no acondicionado) y se concreta la composición de dicha envolvente: espesores, aislamiento, proporción hueco/macizo, tipos de carpinterías y vidrios, porcentaje de marco en huecos y protecciones solares.
- 1.3. Simulación energética.** A partir de los datos extraídos de las subtareas 1.1 y 1.2., se genera el modelo informático mediante la herramienta HULC, produciendo una simulación del comportamiento energético del modelo introducido. Para un mayor grado de rigurosidad y aproximación a la realidad de dicho comportamiento, se genera el modelo informático del bloque dividido por plantas y por orientaciones, además de considerar el bloque en su totalidad.
- 1.4. Análisis de los resultados. Caracterización energética del edificio.** Tras la simulación energética se extraen los resultados obtenidos respecto al cumplimiento del DB-HE-1 (coeficiente global de transmisión de calor, control solar y permeabilidad al aire de huecos de la envolvente térmica). También se obtienen resultados de las demandas de calefacción y refrigeración, así como de las pérdidas por los distintos elementos de la envolvente, tanto en términos totales del bloque como parciales por plantas y orientaciones. Con dichos resultados se consigue la valoración energética del edificio original respecto a los estándares actuales.

La **Tarea 2 (T2)** está ligada al segundo modelo de la metodología, el Estado Actual (EA), donde se realiza el estudio del comportamiento energético del edificio a fecha del presente TFG, 2022, incorporando las modificaciones llevadas a cabo en la reforma de 2004:

- 2.1. Levantamiento del edificio y sistemas constructivos.** Se desarrolla de la misma forma que en la subtarea 1.1., con la novedad de modificar aquellos elementos sobre los que se actuó en la reforma de 2004, fundamentalmente cerramientos, forjados, cubierta, huecos y elementos de sombra.
- 2.2. Definición de la envolvente y patrones de uso.** Se procede de igual modo que en la subtarea 1.2., volviendo a determinar la nueva envolvente térmica a causa de las intervenciones en la reforma de 2004. Se rectifica la composición de los elementos de la envolvente afectados por dicha reforma: espesores, aislamiento, proporción hueco/macizo, tipos de carpinterías y vidrios, porcentaje de marco en huecos y protecciones solares.
- 2.3. Simulación energética.** A partir de los datos extraídos de las subtareas 2.1 y 2.2., se genera el modelo informático mediante la herramienta HULC, produciendo una simulación del comportamiento energético del modelo introducido de acuerdo con

la reforma de 2004. Se mantiene el mismo criterio de rigurosidad del modelo informático que en la subtarea 1.3. para el estudio del comportamiento energético.

**2.4. Análisis de los resultados. Caracterización energética del edificio.** Tras la simulación energética, se extraen los resultados obtenidos del comportamiento energético actual del edificio tras la reforma de 2004, de forma análoga a la subtarea 1.4. Con dichos resultados se consigue la valoración energética del edificio actual respecto a los estándares actuales. Estos resultados se comparan con los obtenidos en la subtarea 1.4. para comprobar el nivel de mejora energética que supuso dicha reforma.

La **Tarea 3 (T3)** se centra en la propuesta de las estrategias pasivas sobre el Estado Actual para la mejora de la eficiencia energética del edificio dando lugar al Estado Propuesta (EP) y, de esta manera, comprobar el grado de aproximación a nZEB de acuerdo con el DB-HE de 2019.

**3.1. Definición de estrategias pasivas en la envolvente.** Se genera una matriz para el establecimiento de las actuaciones propuestas en la envolvente térmica del edificio. Esta matriz contempla las posibles estrategias aplicables en cerramientos, cubierta y huecos pertenecientes a la envolvente térmica, atendiendo a la alteración de su valor patrimonial, la isotropía o anisotropía de la actuación, el sistema constructivo empleado, así como los materiales y espesores utilizados.

**3.1.1. Soluciones aplicadas en Cerramientos.** Se escoge la solución óptima para cerramientos que cumpla con las limitaciones preestablecidas en este caso de estudio de valor patrimonial, habitabilidad y eficiencia energética.

**3.1.2. Soluciones aplicadas en Huecos.** Se escoge la solución óptima para huecos con el mismo criterio que en la subtarea 3.1.1. En este caso la solución en huecos afecta a carpinterías, vidrios y protecciones solares. Se asume una ventilación nocturna manual mediante apertura de ventanas.

**3.1.3. Soluciones aplicadas en Cubierta.** Se escoge la solución óptima para cubierta con el mismo criterio que en la subtarea 3.1.1.

**3.2. Simulación energética.** Consiste en la introducción de las estrategias escogidas anteriormente de manera individualizada en los modelos informáticos para simular el comportamiento energético del edificio resultante de cada estrategia. Se mantiene el mismo criterio de rigurosidad del modelo informático que en la subtarea 1.3. y 2.3. para el estudio del comportamiento energético.

**3.2.1. Valoración soluciones aplicadas en Cerramientos.** Tras la simulación energética, se extraen los resultados obtenidos del comportamiento energético del edificio tras la implantación de la solución aplicada en cerramientos, de forma análoga a la subtarea 1.4. y 2.4. Con dichos resultados se consigue la valoración energética del edificio respecto a los estándares actuales. Estos resultados se comparan con los obtenidos en la subtarea 2.4. para comprobar el nivel de mejora energética que supone dicha estrategia respecto al Estado Actual.

- 3.2.2. Valoración soluciones aplicadas en Huecos.** Se desarrolla de igual modo que la subtarea 3.2.1., pero con los resultados obtenidos de la solución aplicada en huecos. En este apartado se independizan los resultados de las intervenciones en carpintería y vidrio, protecciones solares y ventilación nocturna. Estos resultados se comparan con los obtenidos en la subtarea 2.4. para comprobar el nivel de mejora energética que supone cada estrategia en huecos respecto al Estado Actual.
- 3.2.3. Valoración soluciones aplicadas en Cubierta.** Se desarrolla de igual modo que la subtarea 3.2.1. y 3.2.2., pero con los resultados obtenidos de la solución aplicada en cubierta. Estos resultados se comparan con los obtenidos en la subtarea 2.4. para comprobar el nivel de mejora energética que supone dicha estrategia respecto al Estado Actual.
- 3.3. Combinación de estrategias.** A partir del estudio energético individualizado de las estrategias aplicadas, se elabora una estrategia combinada. Se agrupan todas las soluciones propuestas en cada uno de los elementos constructivos en una sola actuación, para acercar el comportamiento energético del edificio todo lo posible a nZEB.
- 3.3. Simulación energética de las combinaciones.** Se introduce la estrategia combinada en la herramienta informática HULC, aunando cada estrategia propuesta en un mismo modelo energético. Se simula el comportamiento energético del edificio con la totalidad de las soluciones aplicadas en su envolvente térmica. Se mantiene el mismo criterio de rigurosidad del modelo informático que en la subtarea 1.3. 2.3. y 3.2. para el estudio del comportamiento energético.
- 3.4. Análisis de los resultados. Grado de aproximación a nZEB.** Tras la simulación energética se extraen los resultados obtenidos del comportamiento energético del edificio con la implantación de la solución combinada, de forma análoga a la subtarea 1.4. 2.4. 3.2.1. 3.2.2 y 3.2.3. Estos resultados se comparan con los obtenidos en la subtarea 2.4. para justificar la reducción de demanda energética que supone dicha estrategia combinada respecto al Estado Actual. Con dichos resultados se consigue la valoración energética del edificio respecto a los estándares actuales del DB-HE de 2019 y se comprueba el grado de aproximación final a nZEB, alcanzando el objetivo general (OG1) del presente TFG.

# 6

## CASO DE ESTUDIO

## 6.1. ORIGEN DEL CASO DE ESTUDIO

El presente capítulo aborda la contextualización del caso de estudio y pone de manifiesto la trascendencia histórica y urbana de la localización en la que se ubica, concretamente, el Sector Sur del núcleo urbano de Córdoba, ciudad mediterránea del sur de España.

El Sector Sur, situado en la margen izquierda del Guadalquivir, al sur del núcleo urbano, conformó desde el inicio la periferia de la ciudad (Fig.10).



Fig. 10. Sector Sur de Córdoba, 2022. Fuente: Google Earth; Elaboración propia.

En España, la industrialización y reconstrucción del país en época de posguerra, junto con el escaso éxito de la política agraria, propiciaron unos fuertes movimientos migratorios hacia las periferias de las ciudades. En el caso de Córdoba, este considerable aumento de población y por consiguiente la elevada demanda de alojamientos, desembocó en la colmatación del Sector Sur, originalmente de carácter agrícola, por pequeñas extensiones de infravivienda y chabolismo debido a la masiva llegada de población rural.

Estos cinturones periféricos impedían el crecimiento de la ciudad en un momento de crucial necesidad, por lo que en 1949 se inauguró Fray Albino, la primera barriada residencial de carácter social para mitigar dicha problemática (Fig.11).

## 6. CASO DE ESTUDIO

Este conjunto residencial fue insuficiente y se tradujo en grandes extensiones de construcciones en condiciones críticas e inhumanas. Para regular este crecimiento discontinuo, el PGOU de 1958 estableció la urbanización de estas extensiones y el desarrollo de tipologías abiertas en el resto del Sector Sur.

Es entonces cuando la participación de Rafael de La-Hoz en el Sector Sur se hizo palpable. Debido a la necesidad de vivienda y las propuestas del Movimiento Moderno, se dio la oportunidad, por primera vez en Córdoba, del desarrollo



**Fig. 11.** Vuelo americano barriada Fray Albino, 1956-57  
Fuente: Fototeca Digital PNOA; Elaboración propia.

residencial de acuerdo con el debate de la vivienda social. La investigación sobre la vivienda social fue una labor continua para Rafael de La-Hoz desde mediados de los años 50 hasta principios de la década siguiente. Dicha investigación se articuló en torno al binomio técnica-funcionalidad: racionalizando los procesos constructivos y estudiando la composición espacial para la optimización de superficies y circulaciones. El Sector Sur significó para Rafael de La-Hoz la experimentación de sus modelos de vivienda social, cuya investigación culminó en la barriada San Martín de Porres con los bloques del presente caso de estudio (Fig.12).



**Fig. 12.** Ubicación de San Martín de Porres en el Sector Sur, 2022. Fuente: Google Earth; Elaboración propia.



## 6. CASO DE ESTUDIO

Esta actuación fue subvencionada en un principio por la OSCHF (Obra Social Cordobesa Huertos Familiares), la cual proyectó entre 1959 y 1960 la primera promoción de viviendas que conformaban el sector Torremolinos. En 1962, acometió una segunda promoción de viviendas en el sector Motril y cedió la titularidad de la última promoción por construir en el sector Los Dolores a la OSH (Obra Sindical del Hogar) (Fig.13).

La ordenación urbana se dispuso en espiga respecto a la calle principal que les daba acceso, alejándose de la tradicional ordenación con

fachadas paralelas y perpendiculares al viario. Como conclusión a la búsqueda de soluciones arquitectónicas dignas y viables a la problemática de la vivienda social de la época, el edificio tipo definido por Rafael de La-Hoz fue el resultante del modelo de bloque económico: una variante del bloque en H, sin patios interiores, con cuatro viviendas por planta de unos 40 m<sup>2</sup> de superficie útil (Fig.14).



Fig. 13. Sectores de San Martín de Porres, 2022.  
Fuente: Google Earth; Elaboración propia.

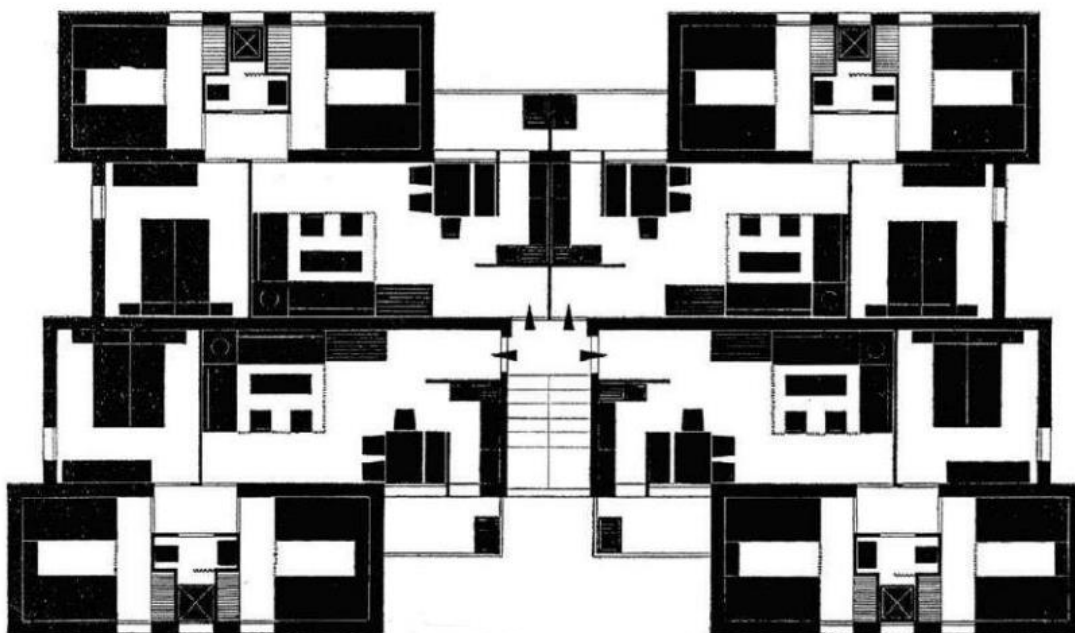
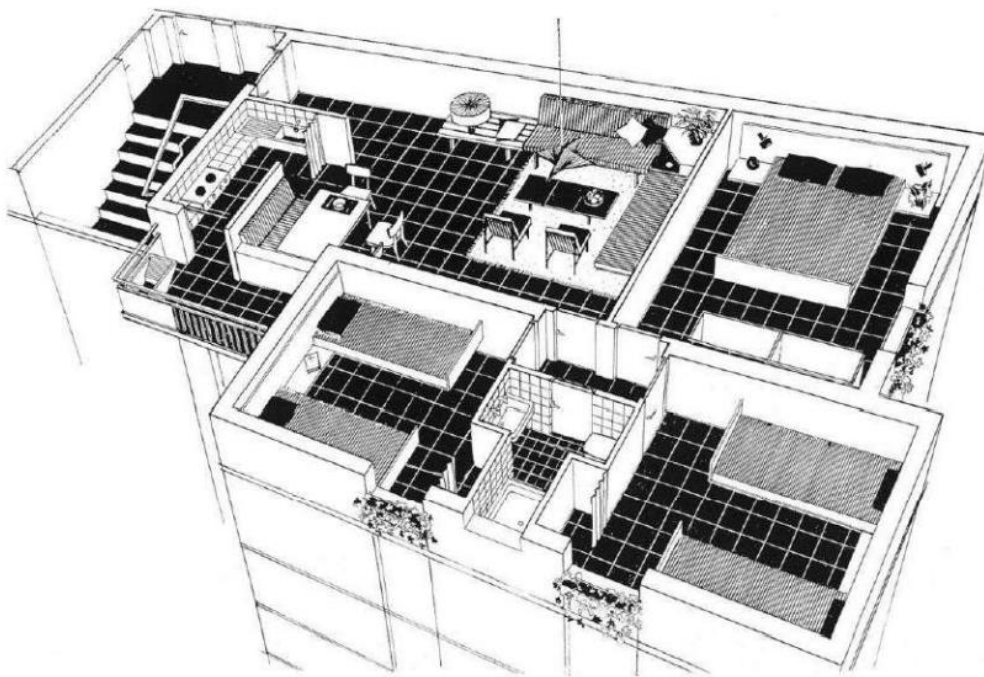


Fig. 14. Planta tipo. San Martín de Porres. Fuente: De La-Hoz, Rafael. La vivienda social. Arquitectura. 1962, vol. 39, pp. 2-15.

## 6. CASO DE ESTUDIO

La organización espacial de la vivienda derivó de la que el arquitecto definió como óptima, y que fue probada en 1961 en otra promoción para la Compañía Ibérica de Construcción y Urbanización Sociedad Anónima (CICUSA), también en el Sector Sur: separación permanente entre núcleo de día y núcleo de noche (Fig.15).



**Fig. 15.** Perspectiva seccionada de vivienda tipo. San Martín de Porres. Fuente: De La-Hoz, Rafael. La vivienda social. Arquitectura. 1962, vol. 39, pp.2-15.

Pese al origen austero del proyecto y la modestia de los materiales empleados, De La-Hoz demostró, además de su interpretación de las corrientes del Movimiento Moderno, su compromiso por otorgar al edificio de una imagen final digna. Dicha imagen fue conferida mediante la configuración de los retranqueos en las fachadas, el tratamiento vertical de los huecos, las líneas horizontales de los forjados entre paños de ladrillo visto y la singularidad que aportan el



**Fig. 16.** Llegada de los primeros inquilinos a las viviendas de San Martín de Porres, 1963. Fuente: Archivo Municipal de Córdoba, autor desconocido.

cuerpo de acceso y las terrazas. De este modo, con San Martín de Porres y en general gracias a la gran aportación de De La-Hoz, las chabolas, la vulnerabilidad ante las crecidas del río, los alojamientos provisionales y las condiciones de hacinamiento de las viviendas del Sector Sur se transformaron en un modelo de habitar digno del Movimiento Moderno con la llegada de los primeros ciudadanos en 1963 (Fig.16).

## 6.2. VALOR PATRIMONIAL DEL CASO DE ESTUDIO

La novedad del reto que se plantea en el presente TFG, al afrontar la problemática de la rehabilitación energética junto con la conservación del interés patrimonial del caso de estudio, le otorga una complejidad añadida. Para abordarla adecuadamente, es conveniente identificar aquellos aspectos que lo hacen merecedor de dicho valor patrimonial para la consiguiente intervención. Son los siguientes:

- **Valor histórico:** el caso de estudio constituye la impronta del período de reconstrucción del país, caracterizada por la escasez y la urgencia reflejada en una elevada demanda de alojamiento y proliferación de la construcción. La construcción de San Martín de Porres facilitó el crecimiento industrial de Córdoba.
- **Valor urbano:** perteneciente al Sector Sur, se inserta en un tejido urbano determinante en los procesos de crecimiento de la ciudad, desde su origen hasta la actualidad. Resolviendo la problemática de asentamientos irregulares y en condiciones críticas, fue de los pioneros en la ordenación actual del Sector Sur, conformando la periferia de la ciudad actual.
- **Valor como recurso revitalizador:** este tipo de crecimiento urbano conllevó problemas de aislamiento urbano y social, carencia de dotaciones y espacios públicos, nula eficiencia energética y deficiencia en la accesibilidad de sus edificios. Actualmente, muchos de estos fragmentos urbanos se encuentran en estado de deterioro, promovido por la urgencia y necesidad de aquella época. Por ello, recuperar y rehabilitar este tipo de barriadas sociales se consolida como una solución sostenible al fracaso de este modelo de crecimiento urbano extensivo, mejorando su habitabilidad y comportamiento energético.
- **Valor social:** consecuencia de la industrialización de Córdoba, el caso de estudio se erigió para dar respuesta a las necesidades de la población rural que emigró a la ciudad. San Martín de Porres fue hogar de esta clase social obrera con su propia idiosincrasia, quedando plasmada en la uniformidad del conjunto residencial y el carácter comunitario de sus fachadas.
- **Valor constructivo:** dicho valor recae en el buen estado de conservación de la estructura de muros de carga de ladrillo visto y el resto de los elementos portantes, así como la composición de huecos y la integración de la estructura de forjados en fachada. Prácticamente, se resume en la configuración original de la fachada y el estado de conservación, casi intacto, en el que se encuentra actualmente.
- **Valor arquitectónico:** es un claro representante de la arquitectura moderna de los años 60 en España en cuanto a vivienda colectiva. Además, pertenece a la obra de Rafael de La-Hoz Arderius, como resultado de su investigación del prototipo de vivienda social, y es una de las muestras más antiguas e interesantes del Movimiento Moderno en Córdoba en el ámbito de la vivienda social. La organización espacial de la tipología del caso de estudio es difícilmente mejorable, teniendo en cuenta las restricciones económicas y apremio de la época. El valor reside en la armonización de funcionalidad, técnica y economía, optimizando la relación entre superficie y circulaciones.

## 6.3. ESTADO ORIGINAL

Este capítulo tiene como finalidad el análisis del comportamiento energético del caso de estudio en su estado original, en 1961, correspondiente a la Tarea 1 de la metodología. El edificio seleccionado es uno de los bloques pertenecientes al sector Torremolinos de la barriada San Martín de Porres, la primera promoción construida, en concreto, uno de los edificios que se encuentran de forma aislada y que, por lo tanto, presenta las mayores exigencias energéticas, sin elementos de sombra ajenos al propio edificio (Fig.17). Excepto los bloques aislados, los edificios de esta barriada se asocian entre sí mediante la arista de



Fig. 17. Bloque 8 de la calle Torremolinos, 2022.  
 Fuente: Google Earth; Elaboración propia.

una de sus esquinas. Esta forma de implantación crea variedad en el comportamiento energético de los edificios, ya que los mismos arrojan planos de sombra sobre los bloques contiguos en determinadas orientaciones. Por ello, se ha escogido el bloque aislado para el análisis energético como el más desfavorable, al no contar con este tipo de protección solar.

El edificio seleccionado presenta una orientación Noreste-Suroeste, cuya fachada principal, al noreste, se muestra en la Fig.18. Dada la antigüedad del estado original, las imágenes más recientes del caso de estudio datan del 2008, en pleno proceso de la rehabilitación integral de la barriada. No obstante, mantienen prácticamente en su totalidad, la imagen y configuración original, salvo algunas modificaciones irregulares en fachada que han ido ejecutando los vecinos, como se observa en la Fig.19.

El acceso desde la vía pública se realiza directamente al núcleo de escaleras, la cual presentaba unas dimensiones mínimas en su estado original. Dicho núcleo central constaba únicamente de los peldaños de la escalera y sus mesetas desde las cuales se accedían a las viviendas, careciendo así de la presencia de espacios comunes cualificados.

El bloque lo componen 20 viviendas y un núcleo central de acceso a ellas y las escaleras, las cuales estaban abiertas al exterior en su estado original. Las viviendas se distribuyen en las cinco plantas del edificio (PB+4), con cuatro viviendas en cada una de ellas. Presenta una variación tipológica del bloque en H, de modo que dos de las viviendas están orientadas al noreste y las otras dos al suroeste. Cuenta con unas dimensiones de 21,15 metros de largo en su fachada principal y 11,95 metros de profundidad en las fachadas

6. CASO DE ESTUDIO

laterales; una superficie construida de 220,90 m<sup>2</sup> por planta y 12,80 metros de altura total del edificio.



**Fig. 18.** Fachada principal noreste del bloque 8 en calle Torremolinos, San Martín de Porres, Córdoba, 2008. Obras de rehabilitación integral de la barriada. Fuente: Google Maps, Street View, sept 2008.



**Fig. 19.** Fachada lateral sureste del bloque 8 en calle Torremolinos, San Martín de Porres, Córdoba, 2008. Obras de rehabilitación integral de la barriada. Fuente: Google Maps, Street View, sept 2008.

6. CASO DE ESTUDIO

Cada vivienda desarrolla su programa en apenas 40 m<sup>2</sup> de superficie útil y en una altura libre de 2,20 metros. La relación de las distintas estancias que componen este caso de estudio y su superficie se muestra en la Tab.03.

Al tratarse de un bloque en H con orientación NE-SO y cuatro viviendas por planta, dos de ellas presentan una orientación predominante noreste y las otras dos al suroeste, aunque con ligeras variaciones en cada una de ellas. Sin embargo, se agrupan simétricamente respecto al núcleo central de escaleras. De este modo, las zonas de día de todas las viviendas se concentran en las crujías interiores, mientras que las zonas de noche se encuentran en las crujías exteriores, apropiándose de las fachadas. Esto genera un desequilibrio térmico entre las dos viviendas con orientación predominante noreste respecto a las de orientación predominante suroeste, generando unas condiciones térmicas y de confort dispares en cada vivienda según la estación climática.

A continuación, se muestra la planimetría del estado original del caso de estudio recuperada del análisis que se realizó para la rehabilitación de la barriada <sup>(60)</sup> (Fig. 20 y Fig.21):

<b>SUPERFICIES ÚTILES BLOQUE</b>	
<b>ESTANCIAS COMUNES</b>	
Núcleo escalera P.Baja (NEPB)	9,60 m <sup>2</sup>
Núcleo escalera P.Tipo (NEPT)	8,00 m <sup>2</sup>
<b>ESTANCIAS EN VIVIENDA</b>	
Vestíbulo (V)	1,45 m <sup>2</sup>
Cocina (K)	2,00 m <sup>2</sup>
Salón-Comedor (S-C)	13,30 m <sup>2</sup>
Terraza (T)	2,90 m <sup>2</sup>
Distribuidor (D)	1,50 m <sup>2</sup>
Dormitorio principal (DP)	8,12 m <sup>2</sup>
Dormitorio doble 1 (DD1)	6,00 m <sup>2</sup>
Dormitorio doble 2 (DD2)	6,00 m <sup>2</sup>
Baño (B)	1,73 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL VIVIENDA</b>	<b>43,00 m<sup>2</sup></b>
<b>TOTAL PLANTA BAJA</b>	<b>181,60 m<sup>2</sup></b>
<b>TOTAL PLANTA TIPO</b>	<b>180,00 m<sup>2</sup></b>
<b>TOTAL BLOQUE</b>	<b>901,60 m<sup>2</sup></b>

Tab. 03. EO, superficies útiles del bloque caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

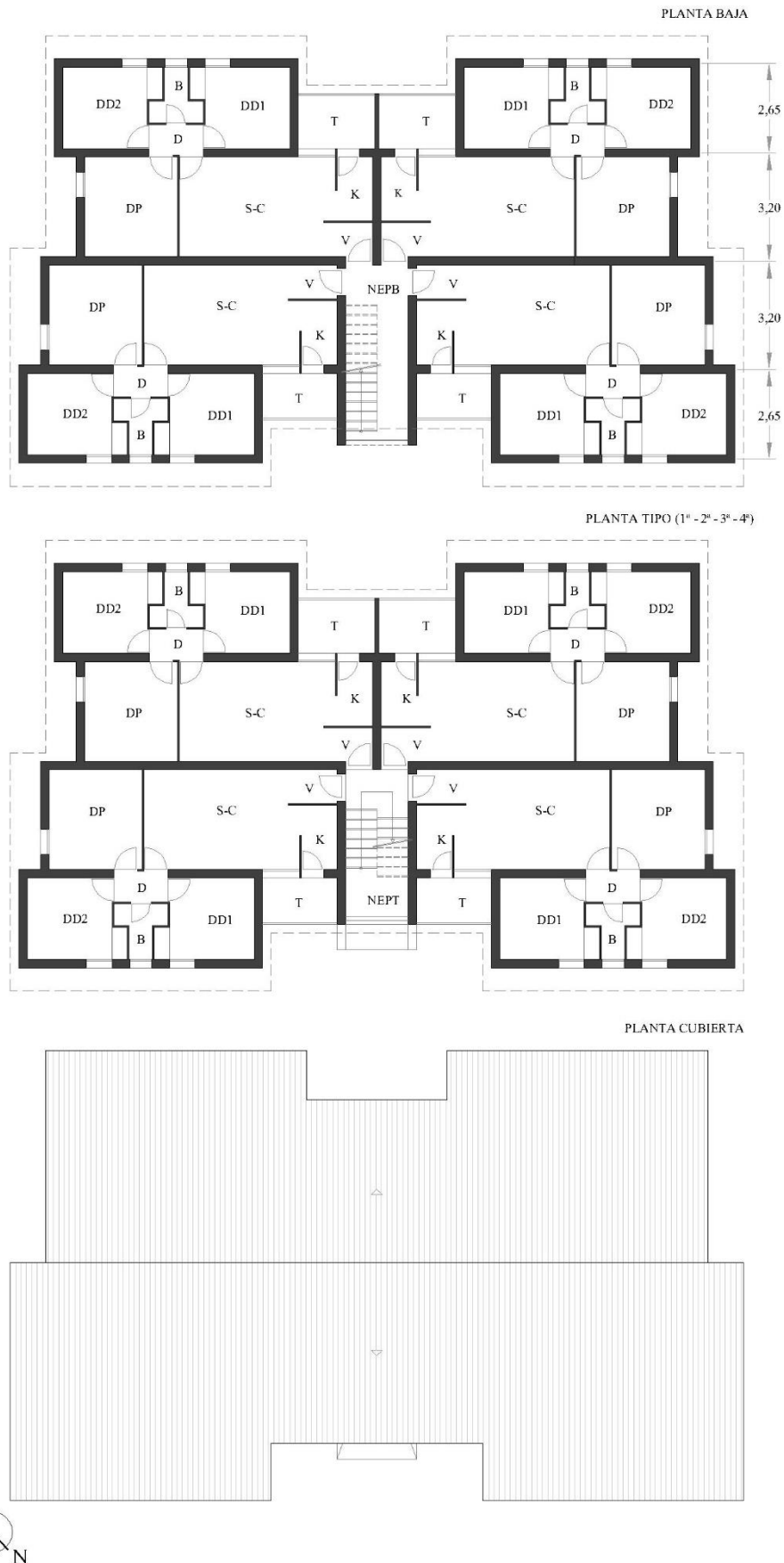


Fig. 20. Planimetría EO del caso de estudio, plantas. Fuente: Elaboración propia desde documentación aportada en estudio para la rehabilitación del Sector Sur de Córdoba <sup>(60)</sup>.

6. CASO DE ESTUDIO

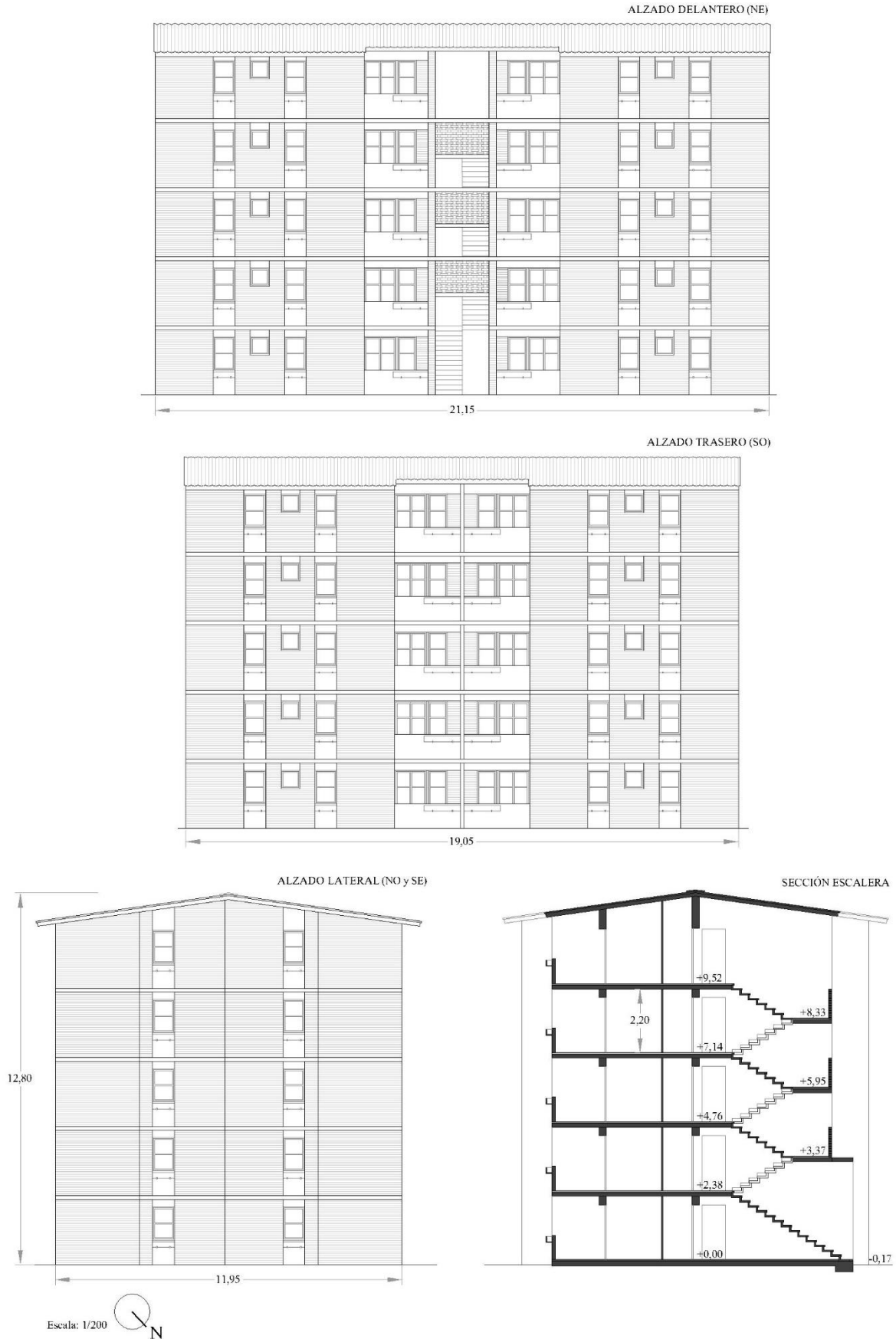


Fig. 21. Planimetría EO del caso de estudio, alzados. Fuente: Elaboración propia desde documentación aportada en estudio para la rehabilitación del Sector Sur de Córdoba <sup>(60)</sup>.



## 6.3.1. CARACTERIZACIÓN CONSTRUCTIVA

El conjunto residencial de San Martín de Porres está resuelto con la misma tipología de bloque y de vivienda, pero difieren en ciertas soluciones constructivas según el año de construcción de la promoción. La diferencia más notoria es el uso del muro de ladrillo portante en las cuatro crujías de los bloques del sector Torremolinos, al ser la primera promoción edificada. Sin embargo, en las siguientes fases de construcción de la barriada se sustituyó el muro de ladrillo por pórticos de hormigón en las crujías interiores.

La estructura se organiza en cuatro crujías de muros de ladrillo de un pie de espesor y forjado unidireccional de viguetas armadas y bovedillas cerámicas. Se presentan cuatro líneas de carga con una separación de 2,65 metros en crujías exteriores y 3,20 metros en las interiores. La estructura se sustenta sobre pozos de cimentación de 2 metros de profundidad macizados con hormigón de 150 kg de cemento/m<sup>3</sup>, y vigas riostras de 35 x 60 cm de hormigón armado de 300 kg de cemento/m<sup>3</sup>, con aislamiento de asfalto en su asiento<sup>(60)</sup>. En fachada se dibuja el trazo de la estructura horizontal de los forjados y el voladizo de los aleros de la cubierta y se enfatiza la verticalidad de los huecos mediante el retranqueo de los capialzados.

En la Fig.22 se muestran las soluciones constructivas del edificio en su estado original en cuanto a paramentos verticales y en las Tablas 04-10 se especifican sus propiedades:

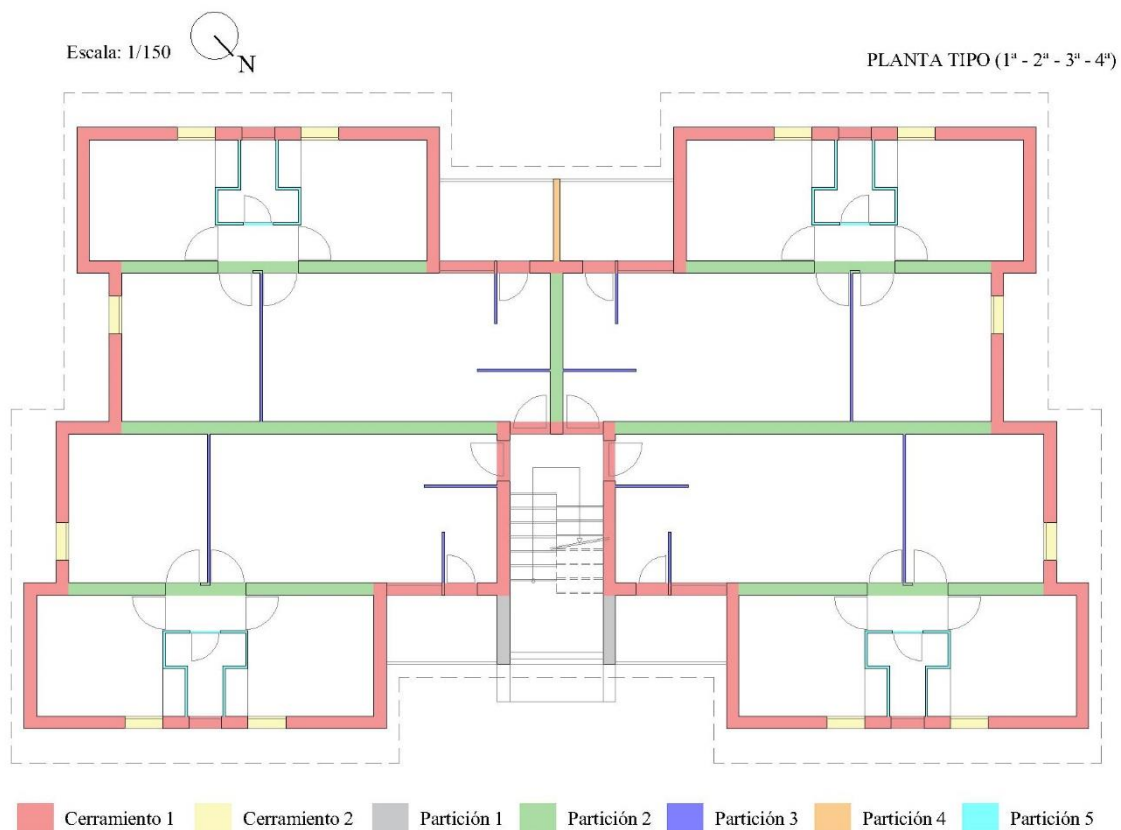
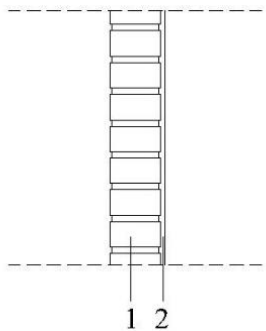
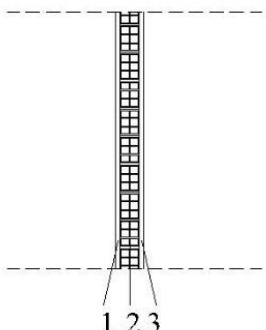


Fig. 22. Planimetría EO de tipología de paramentos verticales. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

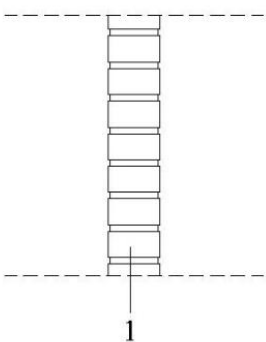
CERRAMIENTO 1					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fábrica de ladrillo macizo métrico o catalán 40 mm &lt; G &lt; 50 mm de resistencia 120 kg/cm<sup>2</sup>, con mortero de cemento 1:3</li> <li>2. Enlucido de yeso d&lt;1000</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,24	1,03	2140	1000	0,233
2	0,02	0,40	900	1000	0,050
R <sub>si</sub>					0,130
Transmitancia térmica, U = 2,21 W/ m <sup>2</sup> ·K					

**Tab. 04.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Cerramiento 1.  
 Fuente: Elaboración propia.

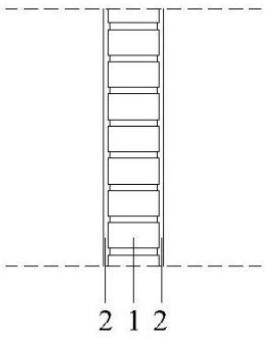
CERRAMIENTO 2					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1600 &lt; d &lt; 1800</li> <li>2. Fábrica de ladrillo hueco doble (60mm&lt;E&lt;90mm) recibido con mortero de cemento 1:3</li> <li>3. Enlucido de yeso d&lt;1000</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,02	1,00	1525	1000	0,020
2	0,09	0,432	930	1000	0,208
3	0,02	0,40	900	1000	0,050
R <sub>si</sub>					0,130
Transmitancia térmica, U = 2,23 W/ m <sup>2</sup> ·K					

**Tab. 05.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Cerramiento 2.  
 Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

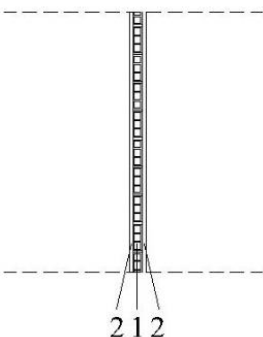
PARTICIÓN 1					
		1. Fábrica de ladrillo macizo métrico o catalán 40 mm < G < 50 mm de resistencia 120 kg/cm <sup>2</sup> , con mortero de cemento 1:3			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,24	1,03	2140	1000	0,233
R <sub>si</sub>					0,130
Transmitancia térmica, U = 2,48 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 06. Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Partición 1.  
 Fuente: Elaboración propia.

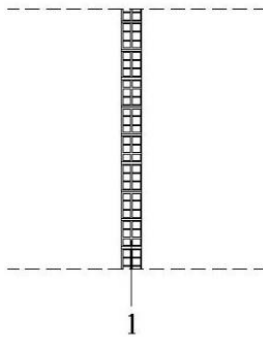
PARTICIÓN 2					
		1. Fábrica de ladrillo macizo métrico o catalán 40 mm < G < 50 mm de resistencia 120 kg/cm <sup>2</sup> , con mortero de cemento 1:3  2. Enlucido de yeso d<1000			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,24	1,03	2140	1000	0,233
2	0,02	0,40	900	1000	0,050
Transmitancia térmica, U = 3,00 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 07. Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Partición 2.  
 Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

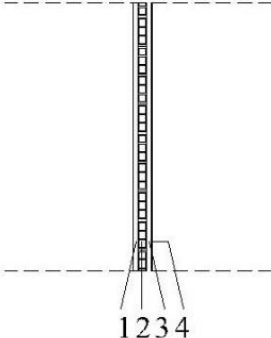
PARTICIÓN 3					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fábrica de rasilla a panderete 20 mm &lt; G &lt; 40 mm, cogida con yeso</li> <li>2. Enlucido de yeso d&lt;1000</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,04	0,445	1000	1000	0,089
2	0,02	0,40	900	1000	0,050
Transmitancia térmica, U = 5,29 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 08. Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Partición 3. Fuente: Elaboración propia.

PARTICIÓN 4					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fábrica de ladrillo hueco doble (60mm&lt;E&lt;90mm) recibido con mortero de cemento 1:3</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,09	0,432	930	1000	0,208
R <sub>si</sub>					0,130
Transmitancia térmica, U = 2,64 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 09. Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Partición 4. Fuente: Elaboración propia.

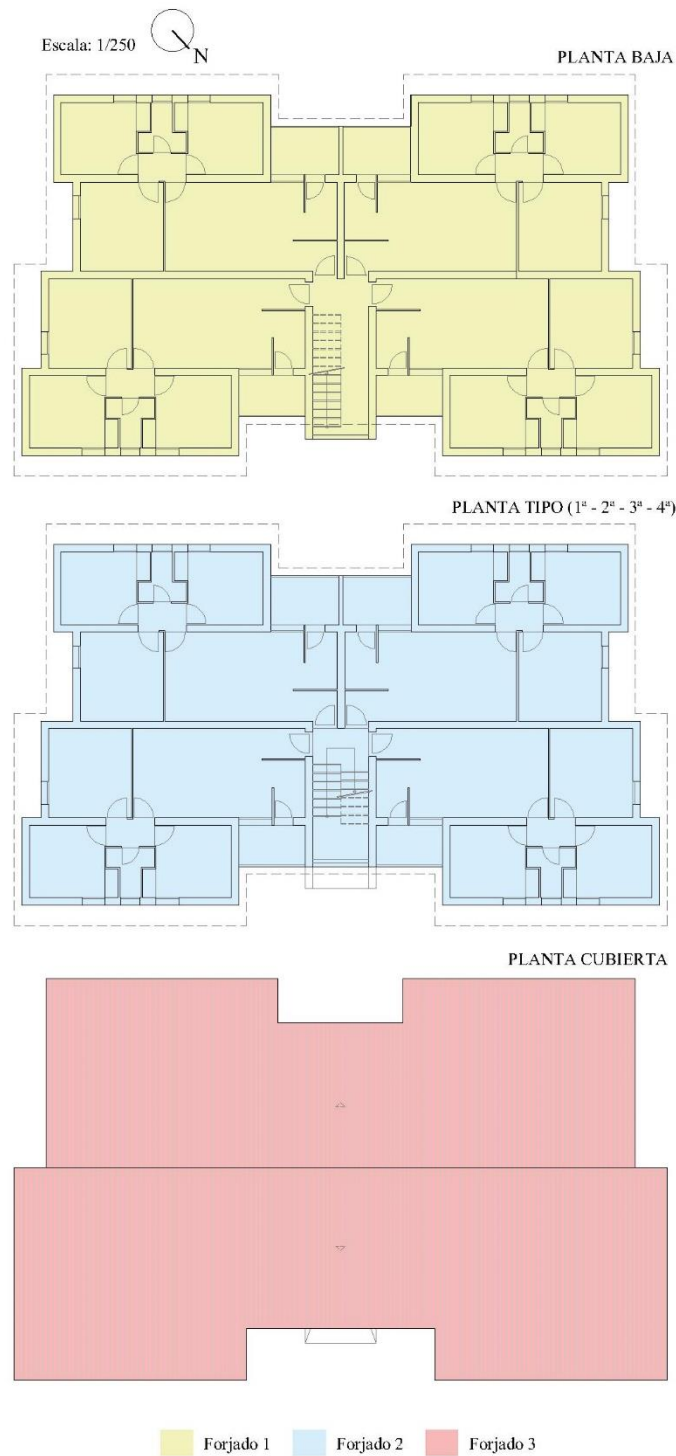
6. CASO DE ESTUDIO

PARTICIÓN 5					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Enlucido de yeso <math>d &lt; 1000</math></li> <li>2. Fábrica de rasilla a panderete 20 mm <math>&lt; G &lt; 40</math> mm, cogida con yeso</li> <li>3. Mortero de cemento o cal 1:8 para albañilería y para revoco/enlucido <math>1600 &lt; d &lt; 1800</math></li> <li>4. Azulejo cerámico 20 x 20 cm</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,02	0,40	900	1000	0,050
2	0,04	0,445	1000	1000	0,089
3	0,02	1,00	1525	1000	0,020
4	0,01	1,30	2300	840	0,007
R <sub>si</sub>					0,130
Transmitancia térmica, U = 6,02 W/ m <sup>2</sup> ·K					

**Tab. 10.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Partición 5.  
 Fuente: Elaboración propia.

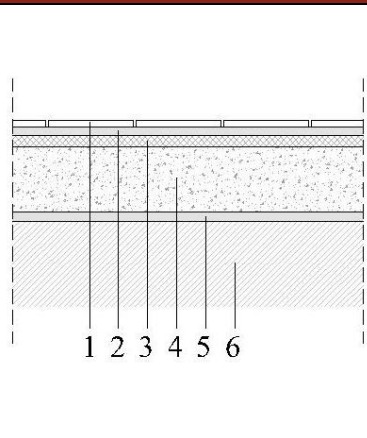
En la Fig.23 se muestran las soluciones constructivas respecto a la estructura horizontal, y en las Tablas 11-13 se especifican sus propiedades:

6. CASO DE ESTUDIO

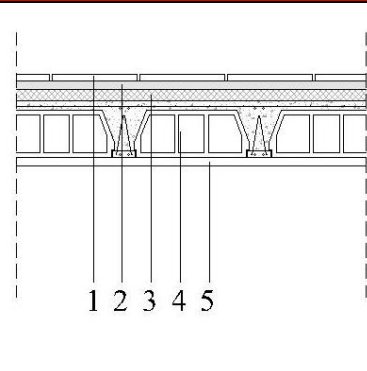


**Fig. 23.** Planimetría EO de tipología de divisiones horizontales. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

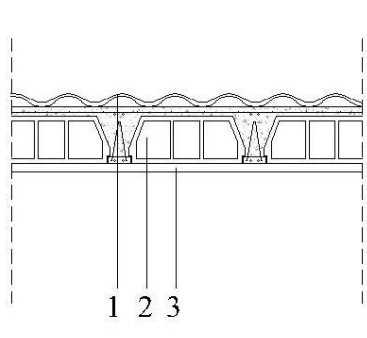
FORJADO 1					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plaqueta o baldosa cerámica de 20 x 20 cm</li> <li>2. Mortero bastardo y enlechado de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1600 &lt; d &lt; 1800</li> <li>3. Relleno de alcatifa de carbonilla y cal (arena y grava 1700 &lt; d &lt; 2200)</li> <li>4. Solera de hormigón armado de 300 kg de cemento / m<sup>3</sup> armada contra bujeo</li> <li>5. Capa impermeabilizante de mortero de cemento o cal 1:3 para albañilería y para revoco/enlucido 1600 &lt; d &lt; 1800</li> <li>6. Terreno</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,015	1,00	2000	800	0,015
2	0,02	1,00	1525	1000	0,020
3	0,025	2,00	1450	1050	0,0125
4	0,15	2,30	2400	1000	0,065
5	0,02	1,00	1525	1000	0,020
Transmitancia térmica, <b>U = 0,75 W/ m<sup>2</sup>·K</b>					

**Tab. 11.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Forjado 1. Fuente: Elaboración propia.

FORJADO 2					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plaqueta o baldosa cerámica de 20 x 20 cm</li> <li>2. Mortero bastardo y enlechado de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1600 &lt; d &lt; 1800</li> <li>3. Relleno de alcatifa de carbonilla y cal (arena y grava 1700 &lt; d &lt; 2200)</li> <li>4. Forjado de hormigón armado de 350 kg de cemento / m<sup>3</sup> de viguetas armadas y aligerado con piezas Riocerámico RC-12</li> <li>5. Enlucido de yeso d &lt; 1000</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,015	1,00	2000	800	0,015
2	0,02	1,00	1525	1000	0,020
3	0,025	2,00	1450	1050	0,0125
4	0,13	0,60	1500	800	0,216
5	0,02	0,40	900	1000	0,050
Transmitancia térmica, <b>U = 3,19 W/ m<sup>2</sup>·K</b>					

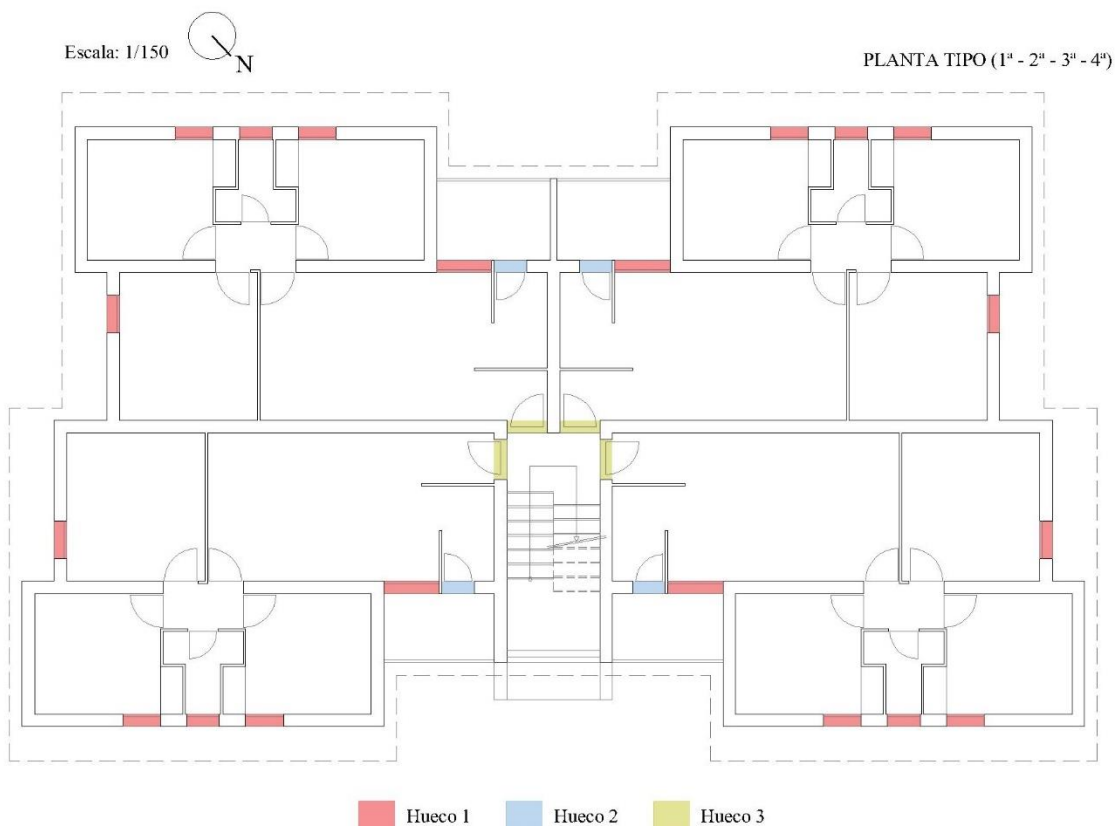
**Tab. 12.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Forjado 2. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

<b>FORJADO 3</b>						
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Placa de fibrocemento tipo uralita granonda, sujeta al forjado, mediante pernos galvanizados y arandelas de plomo.</li> <li>2. Forjado de hormigón armado de 350 kg de cemento / m<sup>3</sup> de viguetas armadas y aligerado con piezas Riocerámico RC-12</li> <li>3. Enlucido de yeso d &lt; 1000</li> </ol>				
		Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)
R <sub>se</sub>						0,040
1	0,006	1,00	1625	1000		0,006
2	0,13	0,60	1500	800		0,216
3	0,02	0,40	900	1000		0,050
R <sub>si</sub>						0,100
<b>Transmitancia térmica, U = 2,43 W/ m<sup>2</sup>·K</b>						

**Tab. 13.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Forjado 3. Fuente: Elaboración propia.

En la Fig.24 se muestran las soluciones constructivas respecto a las carpinterías, y en la Tabla 14 se especifican sus propiedades:



**Fig. 24.** Planimetría EO de tipología de huecos. Fuente: Elaboración propia.



6. CASO DE ESTUDIO

<b>HUECOS</b>			
Hueco	1	2	3
Orientación	NO, NE, SO, SE	NE, SO	-
Marco	Metálico sin RPT	Metálico sin RPT	Madera densidad media-baja
Transmitancia térmica del marco, $U_M$ ( $W/m^2 \cdot K$ )	5,70	5,70	2,00
% marco	30	60	100
Vidrio	Simple	Simple	-
Espesor (mm)	4	4	50
Transmitancia térmica del vidrio, $U_V$ ( $W/m^2 \cdot K$ )	5,70	5,70	-
Protección solar	-	-	-
Incremento $U_H$ por puente térmico del cajón de persiana, %	-	-	-
Transmitancia térmica del hueco, $U_H$ ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>5,70 <math>W/m^2 \cdot K</math></b>	<b>5,70 <math>W/m^2 \cdot K</math></b>	<b>2,00 <math>W/m^2 \cdot K</math></b>

Tab. 14. Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Huecos. Fuente: Elaboración propia.

El edificio se ubica en un clima mediterráneo B4 y presenta una compacidad en su estado original de  $1,68 m^3/m^2$ . A continuación, se muestran los porcentajes que representan en la envolvente térmica cada sistema que la compone (Tab. 15):

SISTEMA ENVOLVENTE	REPRESENTACIÓN ENVOLVENTE
Cerramientos	64,50 %
Cubierta	13,45 %
Solera	13,45 %
Huecos	8,60 %

Tab. 15. Representación de los sistemas en la envolvente térmica del edificio en su estado original. Fuente: Elaboración propia.

La envolvente térmica del edificio en su estado original se muestra en la Fig.25. Se caracteriza por la falta de aislamiento térmico en toda su fachada y la presencia de importantes puentes térmicos producidos por los encuentros de los forjados con la fachada y de los huecos de carpinterías.

La envolvente vertical se resuelve con la tipología de Cerramiento 1 en toda su fachada, excepto en las franjas de los capialzados que lo hace con el Cerramiento 2. La división vertical entre viviendas se ejecuta con una hoja de fábrica de ladrillo de un pie de espesor, también sin ningún tipo de aislamiento. Las particiones interiores de los espacios de las viviendas se realizan mediante tabiquería de fábrica de 8 cm de espesor.

La envolvente horizontal se resuelve con la tipología de Forjado 1 para la división en contacto con el terreno y con la tipología de Forjado 3 para la cubierta inclinada de uralita, ambas sin aislamiento térmico. La división horizontal entre viviendas se ejecuta con la tipología de Forjado 2 con un espesor total de 21 cm, sin ningún tipo de aislamiento.

Los huecos de ventana pertenecientes a la envolvente térmica se resuelven mediante carpinterías metálicas sin rotura de puente térmico y vidrio simple de 4 mm de espesor.

6. CASO DE ESTUDIO

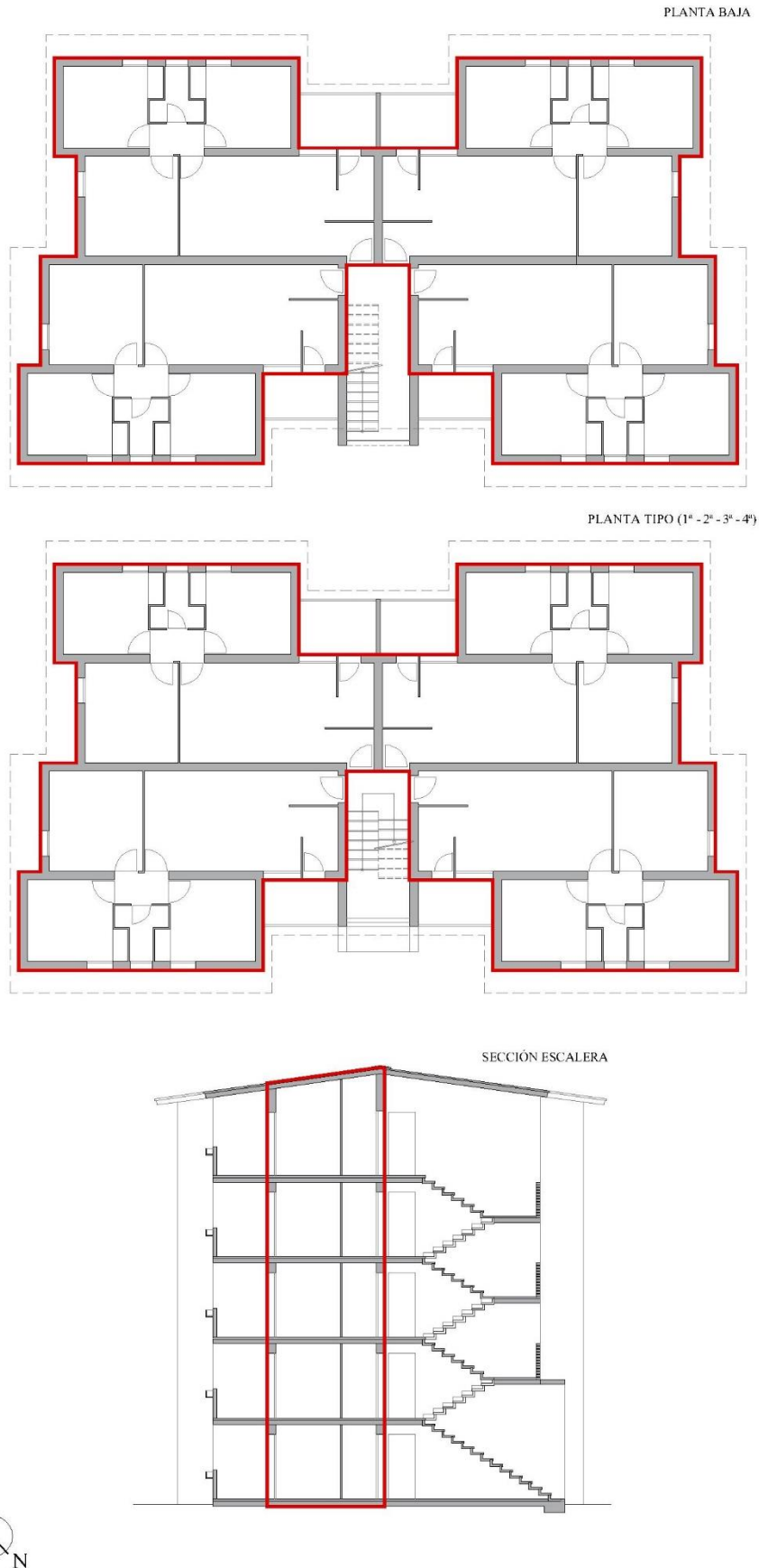


Fig. 25. Planimetría EO de la envolvente térmica. Fuente: Elaboración propia.

## 6.3.2. VALORACIÓN ENERGÉTICA

Tras la caracterización energética se ha modelado el edificio en su estado original mediante la herramienta informática, oficialmente reconocida por el CTE (Código Técnico de la Edificación), HULC (Herramienta Unificada LIDER-CALENER) para proceder a la simulación de su comportamiento energético y el cálculo de sus demandas energéticas (Fig.26).

Como se ha expuesto en la metodología, para la simulación de los modelos energéticos y su riguroso análisis se ha tenido en cuenta diferentes niveles de aproximación al edificio: como bloque general, dividido por plantas y también por viviendas según la orientación.

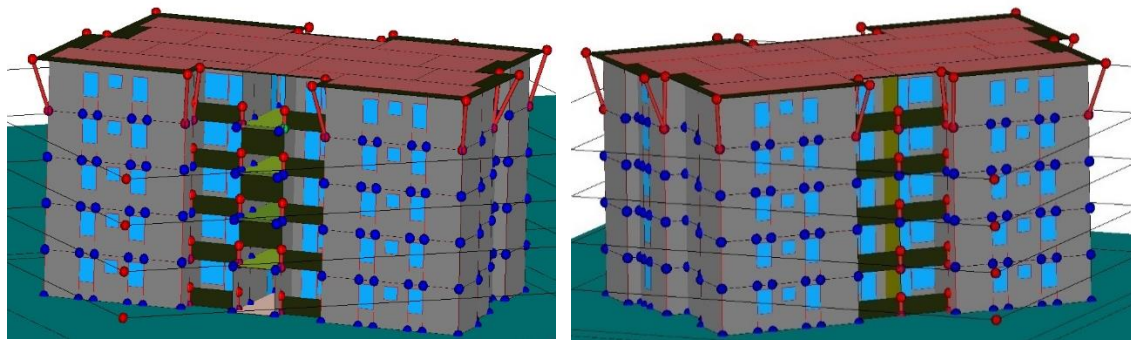


Fig. 26. Modelo energético del EO realizado con HULC, fachada principal NE (izq) y fachada trasera SO (der). Fuente: Elaboración propia.

La comparación de los resultados del modelo en el estado original con los parámetros exigidos por el CTE-HE-1 está encaminada, más que a justificar su cumplimiento, a determinar el proceso de evolución energética del edificio respecto a la futura reforma de 2004.

En este modelo, al tratarse de un edificio de nueva planta, zona climática B4 y una compacidad de  $1,68 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , hubiera debido cumplir, según la normativa actual del CTE-DB-HE de 2019, un coeficiente global de transmisión de calor ( $K_{lim}$ ) de  $0,62 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ , obtenido interpolando los valores de la tabla 3.1.1.b - HE1 (Fig.27):

Tabla 3.1.1.b - HE1 Valor límite  $K_{lim}$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] para uso residencial privado

	Compacidad $V/A$ [ $\text{m}^3/\text{m}^2$ ]	Zona climática de invierno					
		$\alpha$	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	$V/A \leq 1$	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	$V/A \geq 4$	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	$V/A \leq 1$	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	$V/A \geq 4$	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Fig. 27. Tabla 3.1.1.b-HE1. Valor límite  $K_{lim}$  para uso residencial privado en edificios nuevos. Fuente: CTE-DB-HE (2019).

6. CASO DE ESTUDIO

Hubiera debido cumplir también un valor límite del parámetro de control solar ( $q_{sol;jul,lim}$ ) de 2,00 kWh/m<sup>2</sup>mes (Fig. 28) y de 6,00 h<sup>-1</sup> en el valor límite de la relación del cambio de aire con una presión de 50 Pa (Fig.29):

**Tabla 3.1.2-HE1 Valor límite del parámetro de control solar,  $q_{sol;jul,lim}$  [kWh/m<sup>2</sup>·mes]**

Uso	$q_{sol;jul}$
Residencial privado	2,00
Otros usos	4,00

**Fig. 28.** Tabla 3.1.2-HE1. Valor límite del parámetro de control solar,  $q_{sol;jul,lim}$ . Fuente: CTE-DB-HE (2019).

**Tabla 3.1.3.b-HE1 Valor límite de la relación del cambio de aire con una presión de 50 Pa,**

Compacidad V/A [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	$n_{50}$ [h <sup>-1</sup> ]
V/A ≤ 2	6
V/A ≥ 4	3

**Fig. 29.** Tabla 3.1.3.b-HE1. Valor límite de la relación del cambio de aire con una presión de 50 Pa,  $n_{50}$  (h<sup>-1</sup>). Fuente: CTE-DB-HE (2019).

A continuación, se muestran los resultados obtenidos respecto al cumplimiento del HE-1 en la Tab.16:

COMPROBACIÓN HE-1 DEL EO						
ESTADO ORIGINAL	$K_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	K (W/m <sup>2</sup> K)	$q_{sol;jul,lim}$ (kWh/m <sup>2</sup> mes)	$q_{sol;jul}$ (kWh/m <sup>2</sup> mes)	$n_{50,lim}$ (h <sup>-1</sup> )	$n_{50}$ (h <sup>-1</sup> )
	0,62	2,88	2,00	4,71	6,00	7,20

**Tab. 16.** EO, comprobación HE-1. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que no cumpliría HE-1, ya que los tres parámetros límite son superados. El  $K_{lim}$  es de 0,62 W/m<sup>2</sup>K y el edificio presenta un K de 2,88 W/m<sup>2</sup>K. Esto se debe a la falta de aislamiento y que la envolvente térmica cuenta exclusivamente con una hoja de ladrillo de un pie de espesor. Igualmente, la cubierta y la solera de planta baja son forjados sin aislamiento y con poco espesor. Además, las carpinterías de acero sin rotura de puente térmico y vidrio simple no cuentan con ninguna protección solar, lo que tampoco haría cumplir el parámetro de control solar.

Esta comprobación es una aproximación a lo que debería cumplir este caso de estudio en la hipótesis de haber sido construido en la actualidad. Los resultados se alejan notablemente de los límites exigidos por el CTE-DB-HE1 de 2019, reflejando el deficiente control térmico de la época en comparación con los exigentes valores actuales.

En la Tab.17 se muestran los resultados obtenidos respecto a la demanda energética anual referida al bloque en su conjunto, tanto de calefacción como de refrigeración y la total, así como las pérdidas energéticas según sus elementos:

6. CASO DE ESTUDIO

COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA GENERAL DEL EO							
ESTADO ORIGINAL	(kWh/m <sup>2</sup> año)	Demanda Total	Pérd. Cerr.	Pérd. Cub.	Pérd. Huec.	Pérd. Vent.	Ganancia Solar Huec.
	CAL.	<b>-51,13</b>	<b>-42,22</b>	<b>-7,93</b>	<b>-17,34</b>	<b>-10,50</b>	<b>17,34</b>
	REF.	<b>28,00</b>	<b>4,17</b>	<b>2,90</b>	<b>1,76</b>	<b>-0,93</b>	<b>8,86</b>
	TOT.	<b>79,13</b>	<b>46,39</b>	<b>10,83</b>	<b>19,47</b>	<b>11,43</b>	<b>26,20</b>

Tab. 17. EO, comprobación demanda energética general. Fuente: Elaboración propia.

La demanda energética anual de calefacción es de 51,13 kWh/m<sup>2</sup>año y la de refrigeración de 28,00 kWh/m<sup>2</sup>año, lo que resulta una demanda anual total de 79,13 kWh/m<sup>2</sup>año. Se observa que la mayor parte de pérdidas térmicas se producen mediante las paredes de los cerramientos (46,39 kWh/m<sup>2</sup>año), influyendo sobre todo en la demanda de calefacción con unas pérdidas que llegan a los 42,22 kWh/m<sup>2</sup>año. Esto se debe fundamentalmente a la carencia de aislamiento térmico del cerramiento. Las ganancias por la radiación solar a través de las ventanas (17,34 kWh/m<sup>2</sup>año para calefacción y 8,86 kWh/m<sup>2</sup>año en refrigeración) también suponen un aspecto notable a tener en cuenta. Las carpinterías no presentan unas propiedades térmicas ni protecciones solares adecuadas, llegando a alcanzar pérdidas totales de 19,47 kWh/m<sup>2</sup>año, repercutiendo mayoritariamente en la demanda de calefacción (17,34 kWh/m<sup>2</sup>año). Además de puentes térmicos generalizados en todos los elementos de la envolvente térmica, la deficiente estanqueidad al aire de los huecos provoca unas pérdidas totales de 11,43 kWh/m<sup>2</sup>año.

En la Tab.18 se reflejan los resultados obtenidos respecto a la demanda energética de dos zonas del edificio, una al NE y otra al SO, clasificadas según la planta y la orientación en la que se encuentran, así como las principales pérdidas que se producen:

COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA POR ORIENTACIONES DEL EO				
ESTADO ORIGINAL				
CAL / REF (kWh/m <sup>2</sup> mes)	Planta Intermedia		Planta Cubierta	
	NE	SO	NE	SO
Demanda energética	<b>-75,17 / 25,46</b>	<b>-46,80 / 34,64</b>	<b>-113,75 / 41,49</b>	<b>-91,13 / 45,40</b>
Pérd. Cerram.	<b>-73,57 / 5,99</b>	<b>-66,49 / 8,64</b>	<b>-71,14 / 9,32</b>	<b>-64,74 / 10,18</b>
Pérd. Cubierta	<b>0,00 / 0,00</b>	<b>0,00 / 0,00</b>	<b>-34,89 / 12,72</b>	<b>-35,11 / 13,05</b>
Pérd. Huecos	<b>-14,54 / 0,12</b>	<b>-14,21 / 0,98</b>	<b>-11,86 / 1,05</b>	<b>-11,29 / 1,45</b>
Pérd. Ventilac.	<b>-9,69 / -0,90</b>	<b>-10,66 / -1,04</b>	<b>-11,54 / -1,02</b>	<b>-12,20 / -1,06</b>
Ganancia Solar Huecos	<b>12,52 / 8,78</b>	<b>33,04 / 13,51</b>	<b>9,37 / 6,64</b>	<b>24,37 / 8,50</b>

Tab. 18. EO, comprobación demanda energética por orientaciones. Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia la superioridad de la demanda de calefacción en la orientación NE (75,17 y 113,75 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente) respecto de la fachada SO (46,80 y 91,13 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente), debido a las enormes pérdidas por cerramientos y la poca ganancia

solar al NE. Lo contrario ocurre en la orientación SO (34,64 y 45,40 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente), donde la demanda de refrigeración sobrepasa a las de la fachada NE (25,46 y 41,49 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente). Esto indica que deben tener un tratamiento distinto las fachadas NE y SO. Además, se observa que la planta de cubierta presenta mayores demandas que la planta intermedia, tanto de calefacción como de refrigeración y en sendas orientaciones, debido a las evidentes pérdidas por cubierta.

## 6.4. ESTADO ACTUAL

Este capítulo tiene como finalidad el análisis del comportamiento energético del caso de estudio en su estado actual, tras la reforma de 2004, correspondiente a la Tarea 2 de la metodología.

La introducción de este modelo energético permite conocer el estado de partida para la propuesta de estrategias para la mejora de su eficiencia energética. Además, es posible la comparación con el estado original y determinar las mejoras energéticas que supusieron la rehabilitación integral de la barriada en 2004.

En 1999, las viviendas de esta barriada se incluyeron en el MoMo Andalucía <sup>(61)</sup>, pero el deterioro debido a la obsolescencia funcional de las viviendas por la escasa dimensión y flexibilidad fue irreversible. El Ayuntamiento de Córdoba ordenó la demolición de un bloque del sector Torremolinos, el cual presentaba los mayores problemas arquitectónicos y sociales. Aquello fue el desencadenante para concertar una solución a los problemas de la barriada y se la declaró barriada de rehabilitación integral.

A partir de entonces se llevó a cabo la reforma de la barriada en 2004, reforma que fue más bien encaminada a nivel urbano y de habitabilidad mínima que a nivel energético, puesto que la normativa energética de cumplimiento era la NBE-CT-79. Se llevaron a cabo intervenciones a nivel de equipamientos y espacio público, pero el presente capítulo se centra en el comportamiento energético de los bloques de viviendas. Para conocer con detalle el análisis completo sobre el diagnóstico de las deficiencias de la barriada, los objetivos a cumplir y las actuaciones a realizar, se remite al estudio mencionado anteriormente sobre el análisis para la rehabilitación integral de la barriada San Martín de Porres <sup>(60)</sup>.

Desde su construcción en 1961 hasta la rehabilitación en 2004, los edificios de la barriada han sufrido modificaciones por parte de los usuarios. El resultado de las intervenciones de 2004 en la edificación se muestra en las Fig.30 y Fig.31, las cuales fueron:

- Derribo de las ampliaciones irregulares de las terrazas, sobre todo en las primeras plantas.
- Ampliación de la superficie habitable mediante la incorporación y ampliación de las terrazas de las cocinas, antes realizadas irregularmente.
- Reorganización de los elementos privativos ubicados en fachada (antenas, tendedores, toldos, unidades exteriores de climatización, rejas, etc).
- Instalación de núcleo de ascensor en el exterior del edificio para mejorar la accesibilidad a las viviendas.

## 6. CASO DE ESTUDIO

- Remodelación del núcleo de escalera, sustituyéndola por una de un solo tramo.
- Sustitución de la cubierta de placas de fibrocemento por paneles sándwich de chapa de acero galvanizado con alma aislante de poliuretano.
- Los cerramientos de ladrillo visto se limpiaron y se pintaron de blanco como estrategia para la renovación y dignificación de la visión del conjunto residencial.
- Se mejoraron las carpinterías con la incorporación de doble acristalamiento y rejas de seguridad a modo de lamas fijas.
- Se ampliaron las superficies de iluminación de ventanas, en las plantas 2ª, 3ª y 4ª, incorporando la franja completa del capialzado al hueco de ventana.
- Se mejoraron las instalaciones comunes de saneamiento, fontanería, electricidad y telecomunicaciones.



**Fig. 30.** Fachada principal noreste del bloque 8 en calle Torremolinos, San Martín de Porres, Córdoba, 2014. Obras de rehabilitación integral de la barriada. Fuente: Google Maps, Street View, feb 2014.

6. CASO DE ESTUDIO



Fig. 31. Fachada lateral sureste del bloque 8 en calle Torremolinos, San Martín de Porres, Córdoba, 2014. Obras de rehabilitación integral de la barriada. Fuente: Google Maps, Street View, feb 2014.

Con las medidas de la reforma se amplió la superficie útil de las viviendas alrededor de 3 m<sup>2</sup>, y la superficie construida del bloque en 19,75 m<sup>2</sup>, con 240,65 m<sup>2</sup> construidos por planta. La nueva relación de estancias y superficies útiles se muestra en la Tab.19. Además de estas ampliaciones, la distribución de las estancias de las viviendas también ha sido modificada por los propios usuarios. Durante el período de vida del edificio y según las necesidades de cada familia, algunas viviendas han ampliado la superficie del salón-comedor: bien eliminando el dormitorio principal, o bien manteniendo los tres

<b>SUPERFICIES ÚTILES DE BLOQUE</b>	
<b>ESTANCIAS COMUNES</b>	
Núcleo escalera (NE)	17,19 m <sup>2</sup>
<b>ESTANCIAS DE VIVIENDA</b>	
Vestíbulo (V)	1,64 m <sup>2</sup>
Cocina (K)	8,50 m <sup>2</sup>
Salón-Comedor (S-C)	12,56 m <sup>2</sup>
Distribuidor (D)	1,50 m <sup>2</sup>
Dormitorio principal (DP)	8,12 m <sup>2</sup>
Dormitorio doble 1 (DD1)	6,00 m <sup>2</sup>
Dormitorio doble 2 (DD2)	6,00 m <sup>2</sup>
Baño (B)	1,73 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL VIVIENDA</b>	<b>46,05 m<sup>2</sup></b>
<b>TOTAL PLANTA BAJA</b>	<b>201,39 m<sup>2</sup></b>
<b>TOTAL PLANTA TIPO</b>	<b>201,39 m<sup>2</sup></b>
<b>TOTAL BLOQUE</b>	<b>1006,95 m<sup>2</sup></b>

Tab. 19. EA, superficies útiles del bloque caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.



## 6. CASO DE ESTUDIO

dormitorios y eliminando solo la división con el vestíbulo de entrada.

A continuación, se muestra la planimetría del estado actual del caso de estudio, recuperada del análisis que se realizó para la rehabilitación de la barriada <sup>(60)</sup> (Fig. 32 y Fig.33):

6. CASO DE ESTUDIO

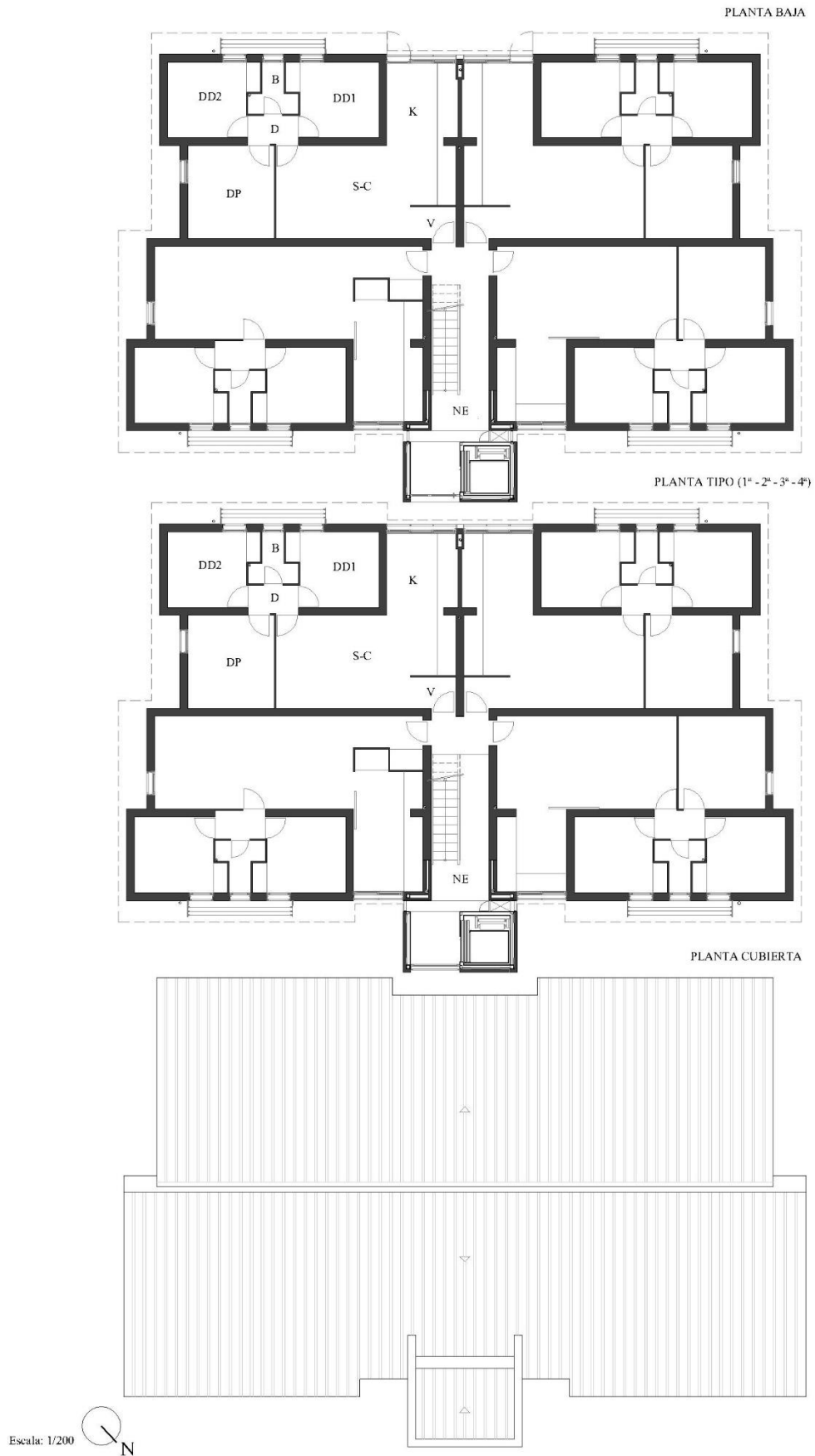


Fig. 32. Planimetría EA del caso de estudio, plantas. Fuente: Elaboración propia desde documentación aportada en estudio para la rehabilitación del Sector Sur de Córdoba <sup>(60)</sup>.

6. CASO DE ESTUDIO



Fig. 33. Planimetría EA del caso de estudio, alzados. Fuente: Elaboración propia desde documentación aportada en estudio para la rehabilitación del Sector Sur de Córdoba <sup>(60)</sup>.

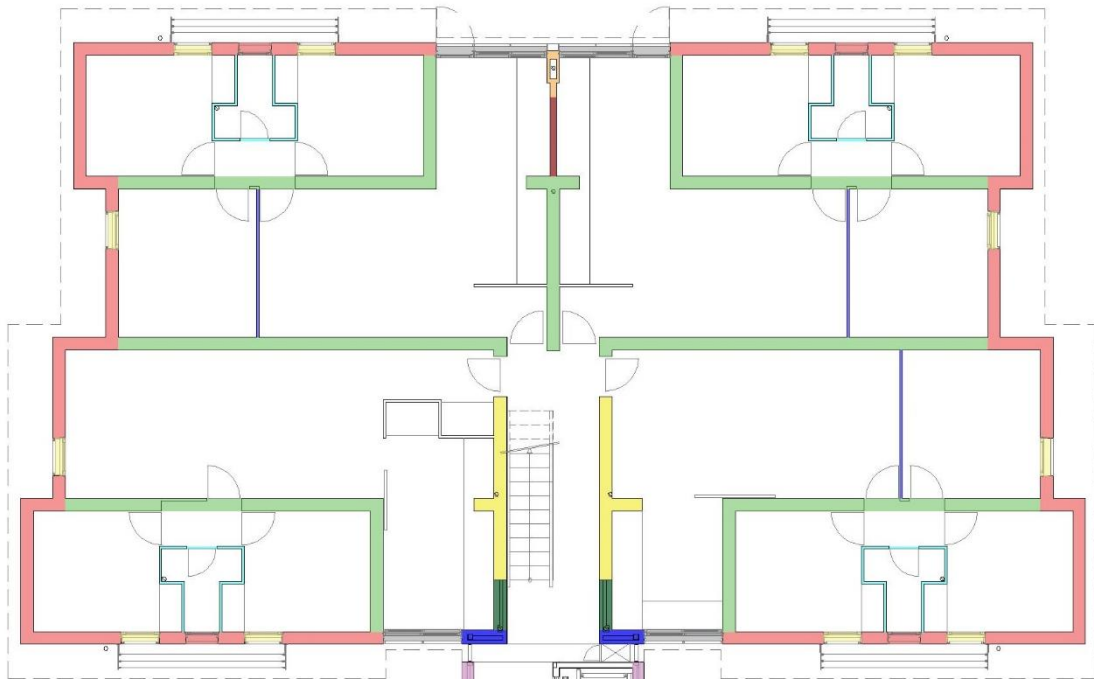
## 6.4.1. CARACTERIZACIÓN CONSTRUCTIVA

La rehabilitación de la edificación supuso modificaciones en la caracterización constructiva del bloque, tanto por los sistemas constructivos empleados en las ampliaciones como en la sustitución de elementos existentes.

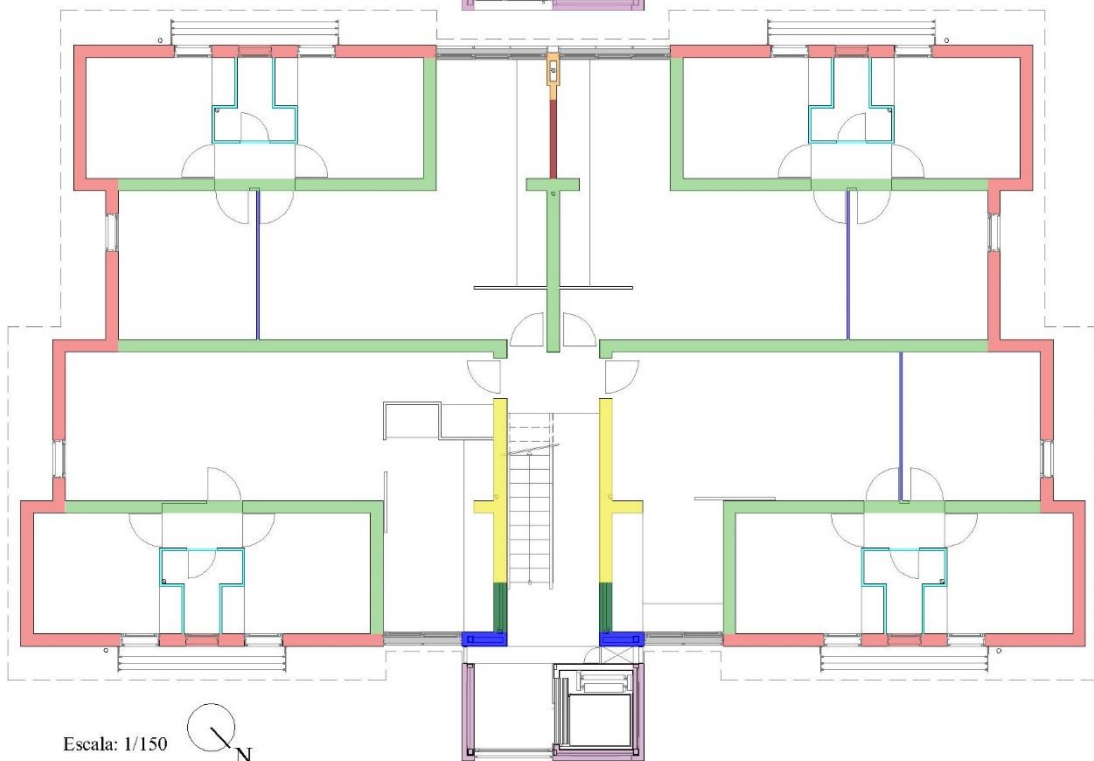
Pese a los diferentes estados de deterioro de los bloques y los nuevos sistemas constructivos empleados, las intervenciones trataron uniformemente todo el conjunto, preservando su unidad original y respetando el carácter comunitario de sus fachadas. La rehabilitación de la barriada, en su modo de actuar, respetó los valores propios del proyecto original.

En la Fig.34 se muestran las soluciones constructivas del edificio en su estado actual en cuanto a paramentos verticales, y en las Tablas 20-31 se especifican sus propiedades:

PLANTA BAJA y 1ª



PLANTA TIPO (2ª - 3ª - 4ª)















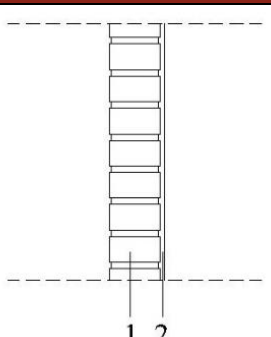
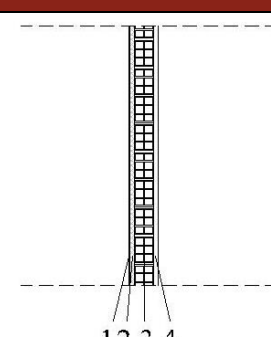
- |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  Cerramiento 1 |  Cerramiento 2 |  Cerramiento 3 |  Cerramiento 4 |   |   |   |   |
|  Partición 1   |  Partición 2   |  Partición 3   |  Partición 4     |  Partición 5 |  Partición 6 |  Partición 7 |  Partición 8 |

Fig. 34. Planimetría EA de tipología de paramentos verticales. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

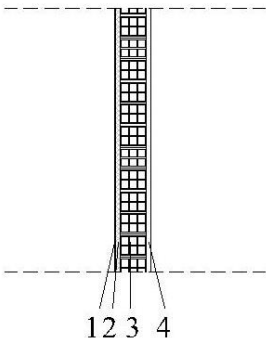
CERRAMIENTO 1					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fábrica de ladrillo macizo métrico o catalán 40 mm &lt; G &lt; 50 mm de resistencia 120 kg/cm<sup>2</sup>, con mortero de cemento 1:3</li> <li>2. Enlucido de yeso d&lt;1000</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,24	1,03	2140	1000	0,233
2	0,02	0,40	900	1000	0,050
R <sub>si</sub>					0,130
Transmitancia térmica, U = 2,21 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 20. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Cerramiento 1.  
 Fuente: Elaboración propia.

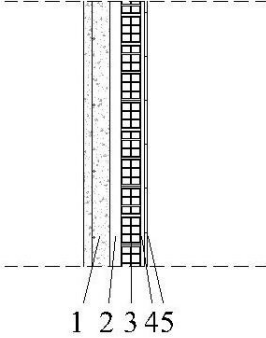
CERRAMIENTO 2					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chapa composite de aluminio tipo Alucobond 6</li> <li>2. XPS expandido con CO<sub>2</sub> (0,034 W/m·K)</li> <li>3. Fábrica de ladrillo hueco doble (60mm&lt;E&lt;90mm) recibido con mortero de cemento 1:3</li> <li>4. Enlucido de yeso d&lt;1000</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,006	17,00	7900	460	0,0003
2	0,02	0,034	38	1000	0,588
3	0,09	0,432	930	1000	0,208
4	0,02	0,40	900	1000	0,050
R <sub>si</sub>					0,130
Transmitancia térmica, U = 0,98 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 21. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Cerramiento 2.  
 Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

CERRAMIENTO 3					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chapa composite de aluminio tipo Alucobond 6</li> <li>2. XPS expandido con CO<sub>2</sub> (0,034 W/m·K)</li> <li>3. Fábrica de ladrillo hueco doble (60mm&lt;E&lt;90mm) recibido con mortero de cemento M-5</li> <li>4. Enlucido de yeso d&lt;1000</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,006	17,00	7900	460	0,0003
2	0,02	0,034	38	1000	0,588
3	0,115	0,432	930	1000	0,266
4	0,02	0,40	900	1000	0,050
R <sub>si</sub>					0,130
Transmitancia térmica, U = 0,93 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 22. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Cerramiento 3. Fuente: Elaboración propia.

CERRAMIENTO 4					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Panel prefabricado de hormigón armado HA-30 y acero B-500s de 12 cm de espesor</li> <li>2. Cámara de aire vertical sin ventilar de 5 cm</li> <li>3. Fábrica de ladrillo hueco doble (60mm&lt;E&lt;90mm) recibido con mortero de cemento M-5</li> <li>4. Mortero de cemento o cal 1:8 para albañilería y para revoco/enlucido 1600 &lt; d &lt; 1800</li> <li>5. Azulejo cerámico 20 x 20 cm</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,12	2,50	2600	1000	0,048
2					0,180
3	0,07	0,432	930	1000	0,162
4	0,015	1,00	1525	1000	0,015
5	0,015	1,30	2300	840	0,011
R <sub>si</sub>					0,130
Transmitancia térmica, U = 1,71 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 23. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Cerramiento 4. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

PARTICIÓN 1					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Enlucido de yeso <math>d &lt; 1000</math></li> <li>2. Fábrica de ladrillo hueco doble (<math>60\text{mm} &lt; E &lt; 90\text{mm}</math>) recibido con mortero de cemento M-5</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,02	0,40	900	1000	0,050
2	0,09	0,432	930	1000	0,208
Transmitancia térmica, $U = 3,24 \text{ W/ m}^2\cdot\text{K}$					

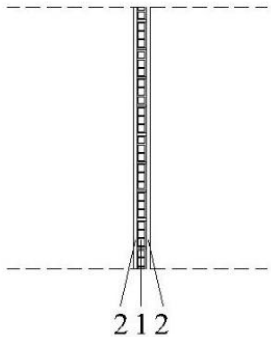
Tab. 24. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 1. Fuente: Elaboración propia.

PARTICIÓN 2					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fábrica de ladrillo macizo métrico o catalán <math>40 \text{ mm} &lt; G &lt; 50 \text{ mm}</math> de resistencia <math>120 \text{ kg/cm}^2</math>, con mortero de cemento 1:3</li> <li>2. Enlucido de yeso <math>d &lt; 1000</math></li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,24	1,03	2140	1000	0,233
2	0,02	0,40	900	1000	0,050
Transmitancia térmica, $U = 3,00 \text{ W/ m}^2\cdot\text{K}$					

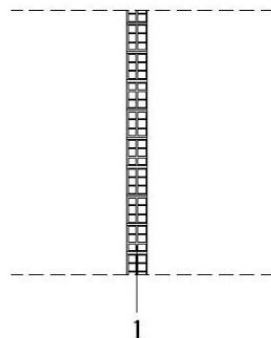
Tab. 25. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 2. Fuente: Elaboración propia.



6. CASO DE ESTUDIO

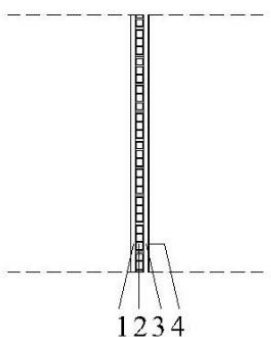
PARTICIÓN 3					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fábrica de rasilla a panderete 20 mm &lt;math&gt;&lt; G &lt; 40&lt;/math&gt; mm, cogida con yeso</li> <li>2. Enlucido de yeso d&lt;math&gt;&lt; 1000&lt;/math&gt;</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,04	0,445	1000	1000	0,089
2	0,02	0,40	900	1000	0,050
Transmitancia térmica, $U = 5,29 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$					

Tab. 26. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 3. Fuente: Elaboración propia.

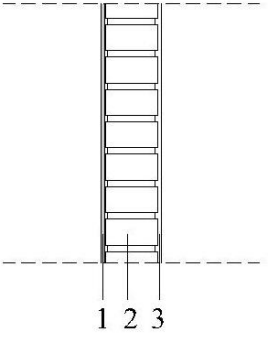
PARTICIÓN 4					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fábrica de ladrillo hueco doble (60mm&lt;math&gt;&lt; E &lt; 90&lt;/math&gt;mm) recibido con mortero de cemento M-5</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,09	0,432	930	1000	0,208
Transmitancia térmica, $U = 4,80 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$					

Tab. 27. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 4. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

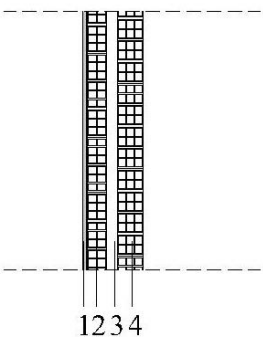
PARTICIÓN 5					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Enlucido de yeso <math>d &lt; 1000</math></li> <li>2. Fábrica de rasilla a panderete <math>20 \text{ mm} &lt; G &lt; 40 \text{ mm}</math>, cogida con yeso</li> <li>3. Mortero de cemento o cal 1:8 para albañilería y para revoco/enlucido <math>1600 &lt; d &lt; 1800</math></li> <li>4. Azulejo cerámico <math>20 \times 20 \text{ cm}</math></li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,02	0,40	900	1000	0,050
2	0,04	0,445	1000	1000	0,089
3	0,02	1,00	1525	1000	0,020
4	0,01	1,30	2300	840	0,007
Transmitancia térmica, $U = 6,02 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$					

Tab. 28. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 5. Fuente: Elaboración propia.

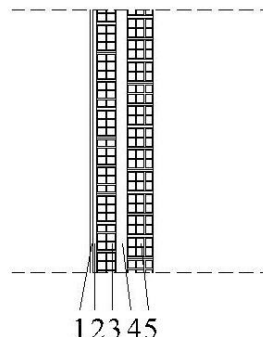
PARTICIÓN 6					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Placa de yeso laminado <math>750 &lt; d &lt; 900</math></li> <li>2. Fábrica de ladrillo macizo métrico o catalán <math>40 \text{ mm} &lt; G &lt; 50 \text{ mm}</math> de resistencia <math>120 \text{ kg/cm}^2</math>, con mortero de cemento 1:3</li> <li>3. Enlucido de yeso <math>d &lt; 1000</math></li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,015	0,25	825	1000	0,060
2	0,24	1,03	2140	1000	0,233
3	0,02	0,40	900	1000	0,050
Transmitancia térmica, $U = 2,91 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$					

Tab. 29. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 6. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

PARTICIÓN 7					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Placa de yeso laminado <math>750 &lt; d &lt; 900</math></li> <li>2. Fábrica de ladrillo hueco doble (<math>60\text{mm} &lt; E &lt; 90\text{mm}</math>) recibido con mortero de cemento M-5</li> <li>3. Cámara de aire vertical sin ventilar de 5 cm</li> <li>4. Fábrica de ladrillo hueco doble (<math>60\text{mm} &lt; E &lt; 90\text{mm}</math>) recibido con mortero de cemento M-5</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,015	0,25	825	1000	0,060
2	0,07	0,432	930	1000	0,162
3					0,180
4	0,115	0,432	930	1000	0,266
Transmitancia térmica, $U = 1,50 \text{ W/ m}^2\cdot\text{K}$					

Tab. 30. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 7. Fuente: Elaboración propia.

PARTICIÓN 8					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Azulejo cerámico 20 x 20 cm</li> <li>2. Mortero de cemento o cal 1:8 para albañilería y para revoco/enlucido <math>1600 &lt; d &lt; 1800</math></li> <li>3. Fábrica de ladrillo hueco doble (<math>60\text{mm} &lt; E &lt; 90\text{mm}</math>) recibido con mortero de cemento M-5</li> <li>4. Cámara de aire vertical sin ventilar de 5 cm</li> <li>5. Fábrica de ladrillo hueco doble (<math>60\text{mm} &lt; E &lt; 90\text{mm}</math>) recibido con mortero de cemento M-5</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,015	1,30	2300	840	0,011
2	0,015	1,00	1525	1000	0,015
3	0,07	0,432	930	1000	0,162
4					0,180
5	0,115	0,432	930	1000	0,266
Transmitancia térmica, $U = 1,58 \text{ W/ m}^2\cdot\text{K}$					

Tab. 31. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 8. Fuente: Elaboración propia.

En la Fig.35 se muestran las soluciones constructivas respecto a la estructura horizontal y en las Tablas 32-42 se especifican sus propiedades:

6. CASO DE ESTUDIO

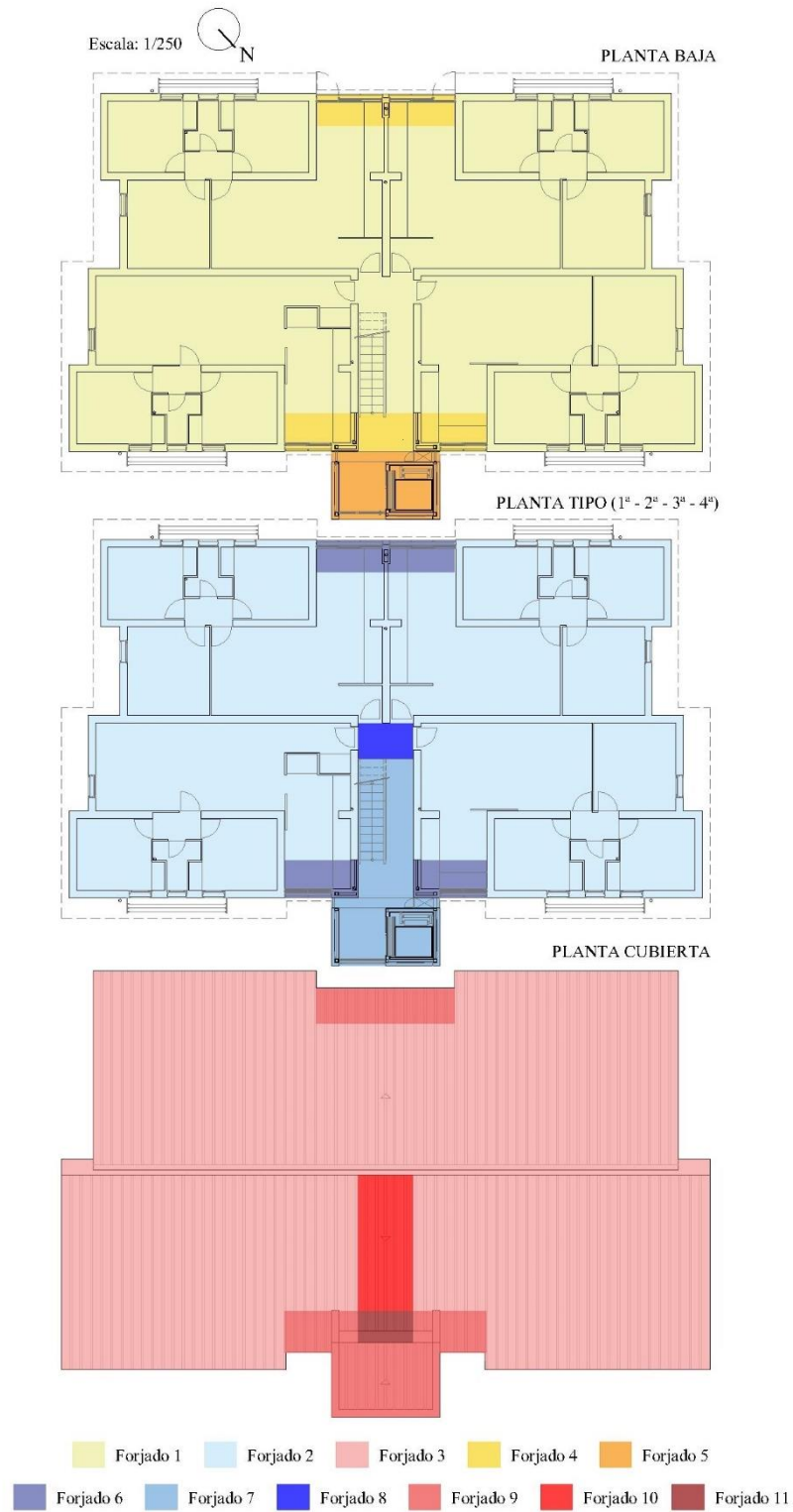
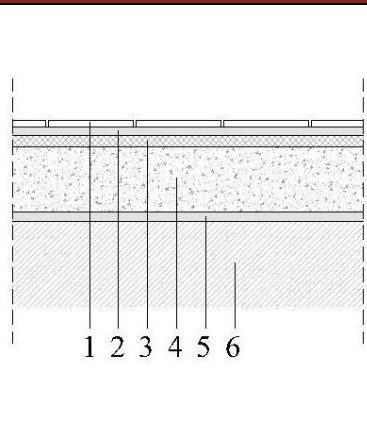
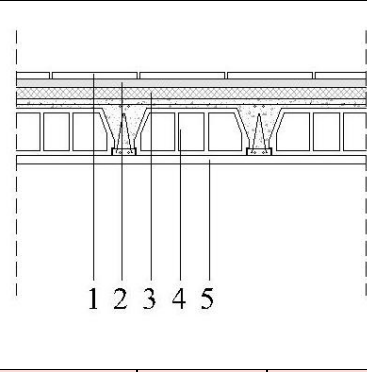


Fig. 35. Planimetría EA de tipología de divisiones horizontales. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

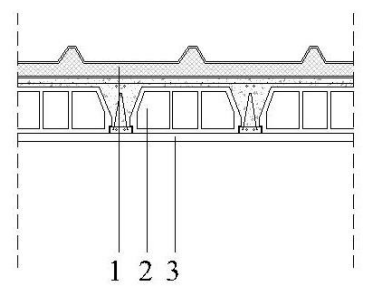
FORJADO 1					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plaqueta o baldosa cerámica de 20 x 20 cm</li> <li>2. Mortero bastardo y enlechado de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1600 &lt; d &lt; 1800</li> <li>3. Relleno de alcatifa de carbonilla y cal (arena y grava 1700 &lt; d &lt; 2200)</li> <li>4. Solera de hormigón armado de 300 kg de cemento / m<sup>3</sup> armada contra bujeo</li> <li>5. Capa impermeabilizante de mortero de cemento o cal 1:3 para albañilería y para revoco/enlucido 1600 &lt; d &lt; 1800</li> <li>6. Terreno</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,015	1,00	2000	800	0,015
2	0,02	1,00	1525	1000	0,020
3	0,025	2,00	1450	1050	0,0125
4	0,15	2,30	2400	1000	0,065
5	0,02	1,00	1525	1000	0,020
Transmitancia térmica, <b>U = 0,62 W/ m<sup>2</sup>·K</b>					

**Tab. 32.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 1. Fuente: Elaboración propia.

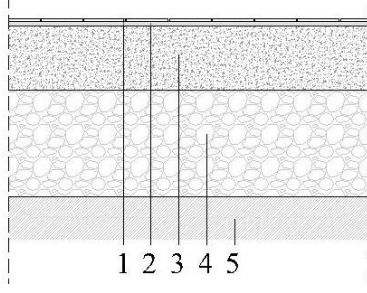
FORJADO 2					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plaqueta o baldosa cerámica de 20 x 20 cm</li> <li>2. Mortero bastardo y enlechado de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1600 &lt; d &lt; 1800</li> <li>3. Relleno de alcatifa de carbonilla y cal (arena y grava 1700 &lt; d &lt; 2200)</li> <li>4. Forjado de hormigón armado de 350 kg de cemento / m<sup>3</sup> de viguetas armadas y aligerado con piezas Riocerámico RC-12</li> <li>5. Enlucido de yeso d &lt; 1000</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,015	1,00	2000	800	0,015
2	0,02	1,00	1525	1000	0,020
3	0,025	2,00	1450	1050	0,0125
4	0,13	0,60	1500	800	0,216
5	0,02	0,40	900	1000	0,050
Transmitancia térmica, <b>U = 3,19 W/ m<sup>2</sup>·K</b>					

**Tab. 33.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 2. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

FORJADO 3					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Panel sándwich de chapa de acero galvanizado con alma aislante de poliuretano</li> <li>2. Forjado de hormigón armado de 350 kg de cemento / m<sup>3</sup> de viguetas armadas y aligerado con piezas Riocerámico RC-12</li> <li>3. Enlucido de yeso d &lt; 1000</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,04	0,03	45	1000	1,333
2	0,13	0,60	1500	800	0,216
3	0,02	0,40	900	1000	0,050
R <sub>si</sub>					0,100
Transmitancia térmica, U = 0,57 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 34. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 3. Fuente: Elaboración propia.

FORJADO 4					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Solería de plaqueta de gres o cerámica</li> <li>2. Mortero de cemento o cal 1:8 para albañilería y para revoco/enlucido 1600 &lt; d &lt; 1800</li> <li>3. Solera de hormigón armado HA-25 y acero B-500s</li> <li>4. Encachado de gravas limpias</li> <li>5. Terreno</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,015	2,30	2500	1000	0,006
2	0,02	1,00	1525	1000	0,020
3	0,30	2,30	2400	1000	0,130
4	0,50	2,00	1450	1050	0,250
Transmitancia térmica, U = 1,09 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 35. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 4. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

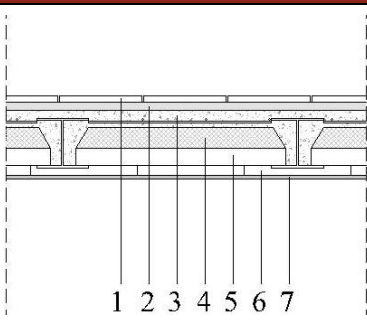
<b>FORJADO 5</b>					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Solería de plaqueta de gres o cerámica</li> <li>2. Mortero de cemento o cal 1:8 para albañilería y para revoco/enlucido <math>1600 &lt; d &lt; 1800</math></li> <li>3. Forjado de hormigón armado HA-25 y acero B-500s de viguetas autorresistentes y bovedillas de hormigón</li> <li>4. Cámara de aire sin ventilar de 90 cm</li> <li>5. Losa de cimentación de hormigón armado HA-25 y acero B-500s</li> <li>6. Hormigón de limpieza HM-20</li> <li>7. Subbase de zahorra natural compactada al 100% Proctor modificado</li> <li>8. Terreno</li> </ol>			
		Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	0,015	2,30	2500	1000	0,006
2	0,02	1,00	1525	1000	0,020
3	0,30	1,422	1240	1000	0,211
4					0,420
5	0,50	2,50	2600	1000	0,200
6	0,05	1,65	2150	100	0,030
7	0,20	2,00	1450	1050	0,100
<b>Transmitancia térmica, U = 1,24 W/ m<sup>2</sup>·K</b>					

**Tab. 36.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 5. Fuente: Elaboración propia.

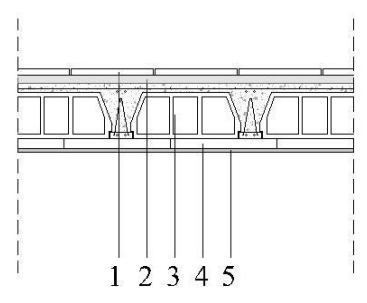
<b>FORJADO 6</b>					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Solería de plaqueta de gres o cerámica</li> <li>2. Mortero de cemento o cal 1:8 para albañilería y para revoco/enlucido <math>1600 &lt; d &lt; 1800</math></li> <li>3. Losa de hormigón armado HA-25 y acero B-500s como capa de compresión</li> <li>4. Plancha de XPS expandido con CO<sub>2</sub> (0,034 W/m·K)</li> <li>5. Rasillón cerámico</li> </ol>			
		Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	0,015	2,30	2500	1000	0,006
2	0,02	1,00	1525	1000	0,020
3	0,04	2,30	2400	1000	0,017
4	0,05	0,034	38	1000	1,470
5	0,04	0,445	1000	1000	0,090
<b>Transmitancia térmica, U = 0,62 W/ m<sup>2</sup>·K</b>					

**Tab. 37.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 6. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

FORJADO 7					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Solería de plaqueta de gres o cerámica</li> <li>2. Mortero de cemento o cal 1:8 para albañilería y para revoco/enlucido <math>1600 &lt; d &lt; 1800</math></li> <li>3. Losa de hormigón armado HA-25 y acero B-500s como capa de compresión</li> <li>4. Plancha de XPS expandido con CO<sub>2</sub> (0,034 W/m·K)</li> <li>5. Rasillón cerámico</li> <li>6. Cámara de aire horizontal sin ventilar de 5 cm</li> <li>7. Placa de yeso laminado <math>750 &lt; d &lt; 900</math></li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,015	2,30	2500	1000	0,006
2	0,02	1,00	1525	1000	0,020
3	0,04	2,30	2400	1000	0,017
4	0,05	0,034	38	1000	1,470
5	0,04	0,445	1000	1000	0,090
6					0,160
7	0,015	0,25	825	1000	0,060
Transmitancia térmica, $U = 0,55 \text{ W/ m}^2\cdot\text{K}$					

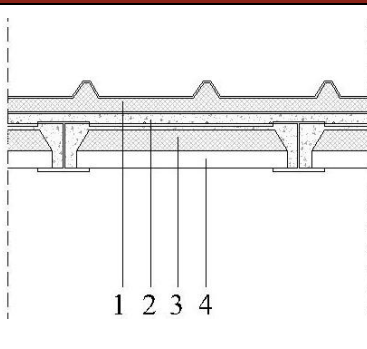
Tab. 38. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 7. Fuente: Elaboración propia.

FORJADO 8					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Solería de plaqueta de gres o cerámica</li> <li>2. Mortero de cemento o cal 1:8 para albañilería y para revoco/enlucido <math>1600 &lt; d &lt; 1800</math></li> <li>3. Forjado de hormigón armado de 350 kg de cemento / m<sup>3</sup> de viguetas armadas y aligerado con piezas Riocerámico RC-12</li> <li>4. Cámara de aire horizontal sin ventilar de 5 cm</li> <li>5. Placa de yeso laminado <math>750 &lt; d &lt; 900</math></li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
1	0,015	2,30	2500	1000	0,006
2	0,02	1,00	1525	1000	0,020
3	0,13	0,60	1500	800	0,216
4					0,160
5	0,015	0,25	825	1000	0,060
Transmitancia térmica, $U = 2,16 \text{ W/ m}^2\cdot\text{K}$					

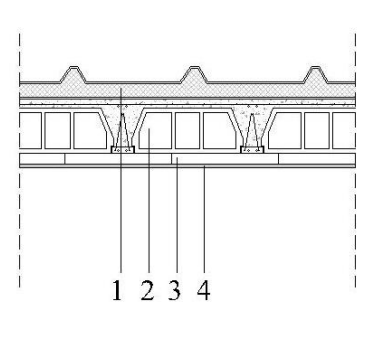
Tab. 39. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 8. Fuente: Elaboración propia.



6. CASO DE ESTUDIO

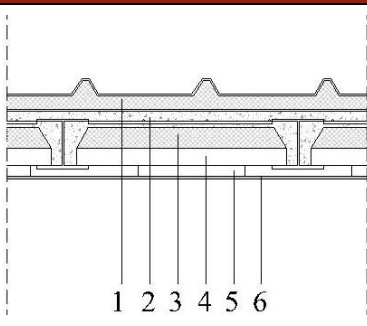
FORJADO 9					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Panel sándwich de chapa de acero galvanizado con alma aislante de poliuretano</li> <li>2. Losa de hormigón armado HA-25 y acero B-500s como capa de compresión</li> <li>3. Plancha de XPS expandido con CO<sub>2</sub> (0,034 W/m·K)</li> <li>4. Rasillón cerámico</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,04	0,03	45	1000	1,333
2	0,04	2,30	2400	1000	0,017
3	0,05	0,034	38	1000	1,470
4	0,04	0,445	1000	1000	0,090
R <sub>si</sub>					0,100
Transmitancia térmica, U = <b>0,33</b> W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 40. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 9. Fuente: Elaboración propia.

FORJADO 10					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Panel sándwich de chapa de acero galvanizado con alma aislante de poliuretano</li> <li>2. Forjado de hormigón armado de 350 kg de cemento / m<sup>3</sup> de viguetas armadas y aligerado con piezas Riocerámico RC-12</li> <li>3. Cámara de aire horizontal sin ventilar de 5 cm</li> <li>4. Placa de yeso laminado 750 &lt; d &lt; 900</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,04	0,03	45	1000	1,333
2	0,13	0,60	1500	800	0,216
3					0,160
4	0,015	0,25	825	1000	0,060
R <sub>si</sub>					0,100
Transmitancia térmica, U = <b>0,52</b> W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 41. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 10. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

FORJADO 11					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Panel sándwich de chapa de acero galvanizado con alma aislante de poliuretano</li> <li>2. Losa de hormigón armado HA-25 y acero B-500s como capa de compresión</li> <li>3. Plancha de XPS expandido con CO<sub>2</sub> (0,034 W/m·K)</li> <li>4. Rasillón cerámico</li> <li>5. Cámara de aire horizontal sin ventilar de 5 cm</li> <li>6. Placa de yeso laminado 750 &lt; d &lt; 900</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,04	0,03	45	1000	1,333
2	0,04	2,30	2400	1000	0,017
3	0,05	0,034	38	1000	1,470
4	0,04	0,445	1000	1000	0,090
5					0,160
6	0,015	0,25	825	1000	0,060
R <sub>si</sub>					0,100
Transmitancia térmica, <b>U = 0,31 W/ m<sup>2</sup>·K</b>					

**Tab. 42.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 11. Fuente: Elaboración propia.

En la Fig.36 se muestran las soluciones constructivas respecto a los huecos y en la Tabla 43 se especifican sus propiedades:

6. CASO DE ESTUDIO

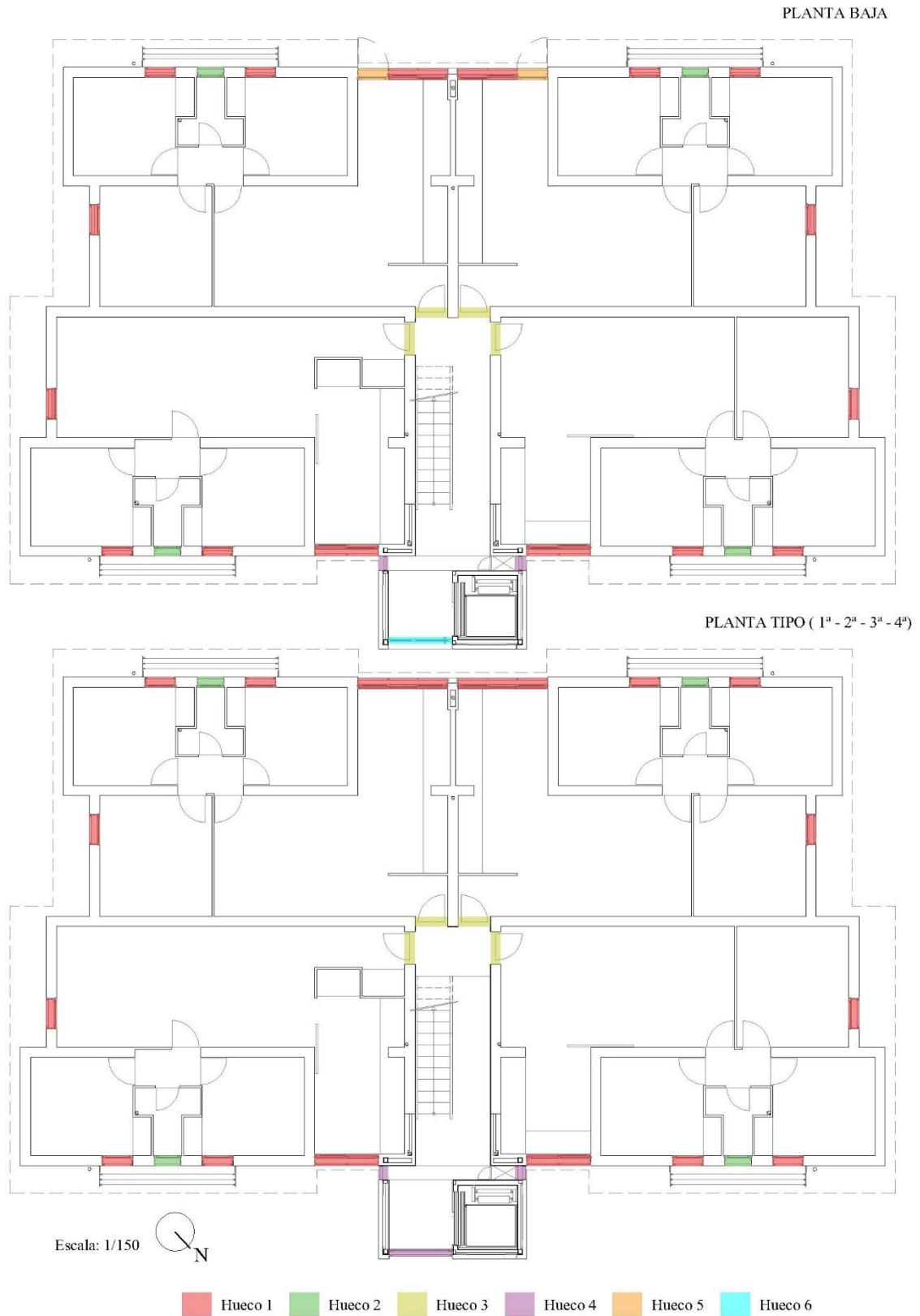


Fig. 36. Planimetría EA de tipología de huecos. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO DE ESTUDIO

HUECOS						
Hueco	1	2	3	4	5	6
Orientación	NO, NE, SO, SE	NE, SO	-	NE	SO	NE
Marco	Metálico sin RPT	Metálico sin RPT	Madera densidad media	Metálico sin RPT	Metálico sin RPT	Metálico sin RPT
Transmitancia térmica del marco, $U_M$ ( $W/m^2 \cdot K$ )	5,70	5,70	2,00	5,70	5,70	5,70
% marco	20	20	100	20	20	20
Vidrio	Doble	Doble con vidrio impreso	-	Doble	Doble	Laminar de seguridad
Espesor (mm)	4/6/5	4-7/6/6	50	4/6/5	4/6/5	6/6
Transmitancia térmica del vidrio, $U_V$ ( $W/m^2 \cdot K$ )	3,26	3,23	-	3,26	3,26	5,40
Protección solar	Persiana y rejas móviles	Rejas fijas	-	Rejas fijas	Persiana y rejas móviles	Rejas fijas
Incremento $U_H$ por puente térmico con cajón de persiana, %	15	-	-	-	15	-
Transmitancia térmica del hueco, $U_H$ ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>4,31</b> $W/m^2 \cdot K$	<b>3,72</b> $W/m^2 \cdot K$	<b>2,00</b> $W/m^2 \cdot K$	<b>3,75</b> $W/m^2 \cdot K$	<b>4,31</b> $W/m^2 \cdot K$	<b>5,46</b> $W/m^2 \cdot K$

Tab. 43. Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Huecos. Fuente: Elaboración propia.

La envolvente térmica, así como el volumen englobado por la misma, se vieron modificados debido a las intervenciones en el edificio con las ampliaciones de las viviendas y la remodelación del núcleo de escaleras y ascensor, presentando una nueva capacidad en su estado actual de  $1,97 m^3/m^2$ .

A continuación, se muestran los porcentajes que representan en la nueva envolvente térmica cada sistema que la compone (Tab.44):

SISTEMA ENVOLVENTE	REPRESENTACIÓN ENVOLVENTE
Cerramientos	55,85 %
Cubierta	17,60 %
Solera	17,60 %
Huecos	8,90 %

Tab. 44. Representación de los sistemas en la envolvente térmica del edificio en su estado actual. Fuente: Elaboración propia.

## 6. CASO DE ESTUDIO

La envolvente térmica del edificio en su estado actual se muestra en la Fig.37. Debido a la escasa limitación de la normativa energética de aplicación (NBE-CT-79) y a la exigencia de conservación del valor patrimonial del edificio, no fue necesaria la intervención energética en cerramientos. Esta no intervención mantuvo la falta de aislamiento térmico en toda su fachada, así como la presencia de los puentes térmicos producidos por los encuentros de los forjados con la fachada y de los huecos de carpinterías, ahora incrementados por la incorporación de los cajones de persianas.

La envolvente vertical se resuelve con la tipología de Cerramiento 1 en toda su fachada, excepto en el núcleo de ascensor que lo hace con el Cerramiento 4. En las franjas de los capialzados, únicamente de planta baja y primera, se resuelve con la tipología de Cerramiento 2, ya que en el resto de plantas desaparece este cerramiento para convertirse completamente en un hueco de ventana; y en los capialzados de las ampliaciones de las cocinas se resuelve con el Cerramiento 3. La división vertical entre viviendas se resuelve, a excepción de los tramos de la ampliación, mediante una hoja de fábrica de ladrillo de un pie de espesor, también sin ningún tipo de aislamiento (Partición 2). La división entre las viviendas y el núcleo de escalera se resuelve prácticamente igual que la división entre viviendas, pero los tramos de ampliación de las viviendas se resuelven con medio pie de fábrica de ladrillo hueco doble más cámara de aire, junto con un trasdosado de tabicón de ladrillo hueco doble (Partición 7 y 8). Las particiones interiores de los espacios de las viviendas se realizan mediante tabiquería de fábrica de 8 cm de espesor.

La envolvente horizontal para la división en contacto con el terreno se resuelve con la tipología de Forjado 1, y los Forjado 4 y 5 para las ampliaciones de las viviendas y la incorporación del núcleo de ascensor, respectivamente. La cubierta de uralita sustituida por panel sándwich con aislamiento térmico se resuelve con la tipología de Forjado 3 prácticamente en su totalidad, con la salvedad de tener una base de forjado diferente para las ampliaciones. La división horizontal entre viviendas se resuelve mediante la tipología de Forjado 2 con un espesor total de 21 cm, también sin ningún tipo de aislamiento. Los nuevos forjados empleados en las ampliaciones (Forjado 6) y el nuevo núcleo de escaleras (Forjado 7) se componen de una estructura ligera de perfiles IPE metálicos, cuyo entrevigado está compuesto por un rasillón cerámico, una plancha de XPS de 5 cm y una capa de compresión de 4 cm de hormigón armado.

La mayor parte de los huecos de ventana pertenecientes a la envolvente térmica se resuelven mediante carpinterías metálicas sin rotura de puente térmico y vidrio doble de 4/6/5 mm de espesor, además de contar con persianas integradas en el cerramiento y rejas a modo de lamas horizontales (Hueco 1 y 5). El resto de huecos de la envolvente presenta las mismas características que la tipología anterior, pero con alguna variación, como la de no incluir persianas (Huecos 2 y 4) o la puerta de acceso al portal que es un vidrio de seguridad (Hueco 6).

6. CASO DE ESTUDIO

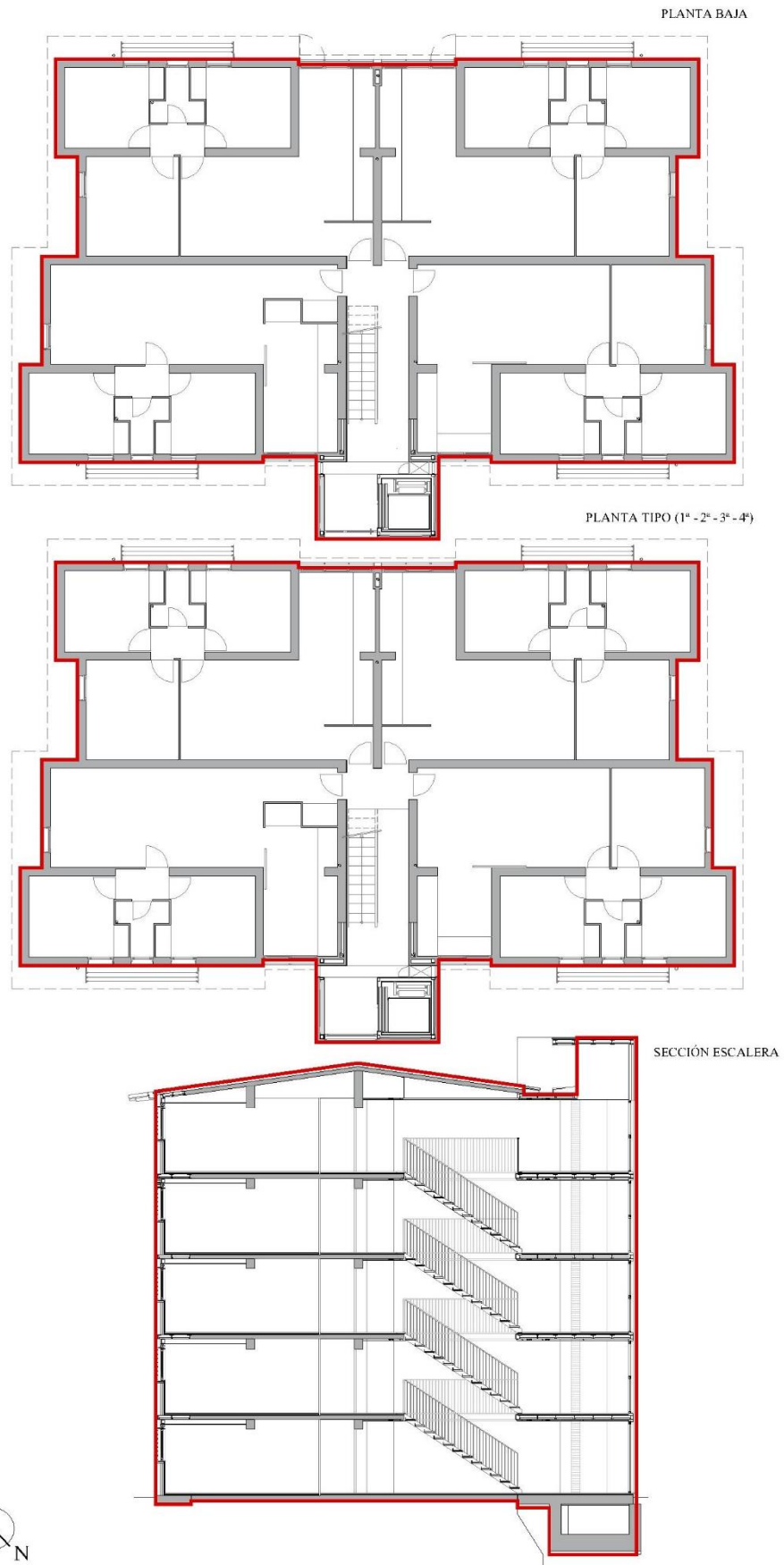
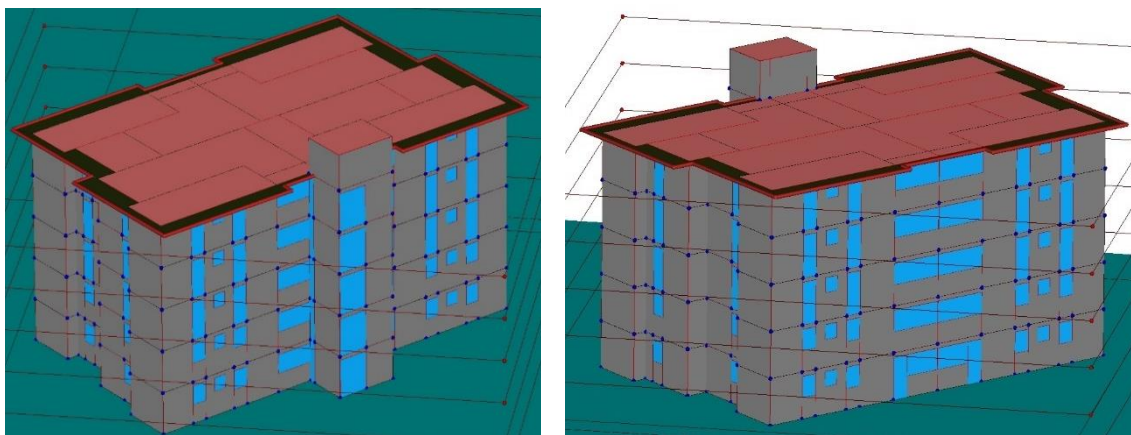


Fig. 37. Planimetría EA de la envolvente térmica. Fuente: Elaboración propia.

## 6.4.2. VALORACIÓN ENERGÉTICA

De igual modo que se ha realizado con el estado original, se ha modelado el estado actual en HULC para el análisis de su comportamiento energético con sus respectivas modificaciones. Manteniendo el mismo criterio y rigurosidad desarrollado en la metodología, se han diferenciado los mismos tres niveles de aproximación para el estudio energético: bloque, plantas y orientaciones (Fig.38).

La comparación de los resultados del modelo en el estado actual con los parámetros exigidos por el CTE-HE-1 permite, además de comprobar el cumplimiento de normativa, localizar las deficiencias energéticas y determinar la base energética de la cual se parte para, posteriormente, proponer estrategias de mejora de su eficiencia energética.



**Fig. 38.** Modelo energético del EA realizado con HULC, fachada principal NE (izq) y fachada trasera SO (der). Fuente: Elaboración propia.

Primeramente, se justifica el cumplimiento de la reforma ejecutada respecto a la normativa vigente en 2004, la NBE-CT-79, y comprobar el alcance energético de las actuaciones.

Empezando por el análisis de los valores de los coeficientes útiles de transmisión térmica  $K$  de cada uno de los elementos de la envolvente térmica, establecidos en la tabla 2 del artículo 5º de la NBE-CT-79 (Fig.39), queda expuesto que únicamente cumplen con los valores exigidos los cerramientos en los que se incorporó aislamiento térmico. Éstos son los correspondientes a los antepechos de las ventanas (Cerramiento 2 y 3), con  $K < 1,60$   $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ , y la cubierta (Forjado 3, 9, 10 y 11), con  $K < 1,20$   $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ . El resto de los cerramientos, en los cuales no se intervinieron y siendo el Cerramiento 1 el que mayor superficie representa en la envolvente, no cumplen con los valores establecidos.

6. CASO DE ESTUDIO

Tabla 2

Tipo de cerramiento		Zona climática según Mapa 2 (art. 13.º)				
		V y W	X	Y	Z	
Cerramientos exteriores	Cubiertas	1,20 (1,40)	1,03 (1,20)	0,77 (0,90)	0,60 (0,70)	
	Fachadas ligeras ( $\leq 200 \text{ kg/m}^2$ )	1,03 (1,20)	1,03 (1,20)	1,03 (1,20)	1,03 (1,20)	
	Fachadas pesadas ( $> 200 \text{ kg/m}^2$ )	1,55 (1,80)	1,38 (1,60)	1,20 (1,40)	1,20 (1,40)	
	Forjados sobre espacio abierto	0,86 (1,00)	0,77 (0,90)	0,69 (0,80)	0,60 (0,70)	
Cerramientos con locales no calefactados	Paredes, Suelos o techos	1,72 (2,00)	1,55 (1,80)	1,38 (1,60)	1,38 (1,60)	
		— (—)	1,20 (1,40)	1,03 (1,20)	1,03 (1,20)	

Valores máximos de K en kcal/h m<sup>2</sup> °C (W/m<sup>2</sup> °C)

Fig. 39. Tabla 2 del art. 5º de la NBE-CT-79. Valores máximos de los coeficientes útiles de transmisión térmica K de los cerramientos. Fuente: NBE-CT-79.

Además, el edificio debía cumplir con un coeficiente de transmisión térmica global  $K_G$  inferior a los exigidos en la tabla 1 del artículo 4º (Fig.40). Ubicado en zona climática B, sin calefacción y con un factor de forma de  $0,507 \text{ m}^{-1}$ , el coeficiente global  $K_G$  no debe ser superior a  $1,14 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$  (valor obtenido mediante la fórmula  $K_G=a(3+1/f)$  indicada en el mismo artículo).

Tabla 1

Tipo de energía para calefacción.	Factor de forma f (m <sup>-1</sup> )	Zona climática según Mapa 1 (art. 13.º)				
		A	B	C	D	E
Caso I Combustibles sólidos, líquidos o gaseosos	$\leq 0,25$	2,10 (2,45)	1,61 (1,89)	1,40 (1,61)	1,26 (1,47)	1,19 (1,40)
	$\geq 1,00$	1,20 (1,40)	0,92 (1,08)	0,80 (0,92)	0,72 (0,84)	0,68 (0,80)
Caso II Edificios sin calefacción o calefactados con energía eléctrica directa por efecto Joule	$\leq 0,25$	2,10 (2,45)	1,40 (1,61)	1,05 (1,19)	0,91 (1,05)	0,77 (0,91)
	$\geq 1,00$	1,20 (1,40)	0,80 (0,92)	0,60 (0,68)	0,52 (0,60)	0,45 (0,52)

Valor límite máximo de  $K_G$  en kcal/h m<sup>2</sup> °C (W/m<sup>2</sup> °C).

Fig. 40. Tabla 1 del art. 4º de la NBE-CT-79. Valor límite del coeficiente global de transmisión térmica  $K_G$  del edificio. Fuente: NBE-CT-79.

Respecto a huecos solo se limita la permeabilidad al aire de las carpinterías de los huecos exteriores. En el artículo 20º se establece que para zonas climáticas A y B, según el Mapa 1 del artículo 13º, deben ser carpinterías de Clase-A1.

A continuación, se comprueba también la adecuación de las actuaciones de la reforma respecto a las exigencias requeridas por la nueva normativa que entró en vigor en 2006, poco después de dicha rehabilitación, el CTE-DB-HE.

En esta normativa se limita la demanda energética, de modo que debe ser inferior a la correspondiente a un edificio en el que los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen su envolvente térmica sean los valores límites establecidos en las tablas 2.2 (Fig.41). En base a estos valores límites, algunos de los elementos de la envolvente térmica, que cumplían con los valores de la normativa anterior, dejan de hacerlo al aumentar las exigencias energéticas en el CTE de 2006, cumpliendo únicamente el Forjado 9 y 11.



6. CASO DE ESTUDIO

ZONA CLIMÁTICA B4									
Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno					$U_{Mlim}: 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$				
Transmitancia límite de suelos					$U_{Slim}: 0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$				
Transmitancia límite de cubiertas					$U_{Clim}: 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$				
Factor solar modificado límite de lucernarios					$F_{Llim}: 0,28$				

% de huecos	Transmitancia límite de huecos <sup>(1)</sup> $U_{Hlim} \text{ W/m}^2\text{K}$				Factor solar modificado límite de huecos $F_{Hlim}$					
	N	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4 (5,7)	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8 (4,7)	4,9 (5,7)	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3 (3,8)	4,3 (4,7)	5,7	5,7	-	-	-	0,55	-	0,57
de 31 a 40	3,0 (3,3)	4,0 (4,2)	5,6 (5,7)	5,6 (5,7)	0,55	-	0,58	0,42	0,59	0,44
de 41 a 50	2,8 (3,0)	3,7 (3,9)	5,4 (5,5)	5,4 (5,5)	0,45	-	0,48	0,34	0,49	0,36
de 51 a 60	2,7 (2,8)	3,6 (3,7)	5,2 (5,3)	5,2 (5,3)	0,39	0,55	0,41	0,29	0,42	0,31

<sup>(1)</sup> En los casos en que la transmitancia media de los muros de fachada  $U_{Mm}$ , definida en el apartado 3.2.2.1, sea inferior a 0,58 se podrá tomar el valor de  $U_{Hlim}$  indicado entre paréntesis para las zonas climáticas B3 y B4.

Fig. 41. Tabla 2.2. Valores límite de los parámetros característicos medios. Fuente: CTE-DB-HE (2006).

La permeabilidad al aire de las carpinterías, medida con una sobrepresión de 100 Pa, debe ser inferior a  $50 \text{ m}^3 / \text{h m}^2$  para las zonas climáticas A y B.

Tras verificar el cumplimiento de la normativa vigente en el año de ejecución de la reforma, se comprueba el grado de aproximación respecto a la normativa actual, el CTE-DB-HE de 2019.

Empezando por el análisis de las transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente térmica, reflejadas en la caracterización constructiva, queda expuesto que ninguno de sus componentes cumple con los valores límites establecidos en la tabla 3.1.1.a - HE1 (Fig.42), a excepción del Forjado 9 y 11 correspondientes a la cubierta de las ampliaciones de las viviendas:

Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica,  $U_{lim} \text{ [W/m}^2\text{K]}$

Elemento	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior ( $U_s, U_M$ )	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior ( $U_C$ )	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno ( $U_T$ )	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica ( $U_{MD}$ )						
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) ( $U_H$ )*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%			5,7			

Fig. 42. Tabla 3.1.1.a-HE1. Valores límites de transmitancia térmica,  $U_{lim}$ . Fuente: CTE-DB-HE (2019).

6. CASO DE ESTUDIO

En este modelo, al tratarse de una reforma que afectó a más de 25% de la envolvente térmica, zona climática B4 y una compacidad de  $1,97 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , debe cumplir un coeficiente global de transmisión de calor ( $K_{lim}$ ) de  $0,85 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ , obtenido extrapolando los valores de la tabla 3.1.1.b - HE1 (Fig.43):

Tabla 3.1.1.b - HE1 Valor límite  $K_{lim}$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] para uso residencial privado

	Compacidad V/A [ $\text{m}^3/\text{m}^2$ ]	Zona climática de invierno					
		$\alpha$	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	$V/A \leq 1$	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	$V/A \geq 4$	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	$V/A \leq 1$	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	$V/A \geq 4$	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Fig. 43. Tabla 3.1.1.b-HE1. Valor límite  $K_{lim}$  para uso residencial privado en reformas de más del 25% de la envolvente térmica. Fuente: CTE-DB-HE (2019).

Respecto al valor límite del parámetro de control solar ( $q_{sol;jul,lim}$ ), debe cumplir el mismo valor que para el estado original, mostrado en la Fig.28:  $2,00 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{mes}$ . El valor límite de la relación del cambio de aire con una presión de 50 Pa no aplica al ser una reforma y no un edificio de nueva construcción.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos respecto al cumplimiento del HE-1 de 2019 y de la NBE-CT-79, en la Tab.45 y la comparación correspondiente a la mejora respecto al estado original:

COMPROBACIÓN HE-1 DEL EA Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EO		
ESTADO ACTUAL		
	Estado Actual (EA)	Estado Original (EO)
$K_{lim}$ ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ) (NBE-CT-79)	1,14	-
$K_{lim}$ ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ) (CTE-DB-HE, 2019)	0,85	-
$K$ ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )	<b>2,33</b>	<b>2,88</b>
Reducción $K$ (%) respecto al EO	19,10 %	-
$q_{sol;jul,lim}$ ( $\text{kWh}/\text{m}^2\text{mes}$ )	2,00	-
$q_{sol;jul}$ ( $\text{kWh}/\text{m}^2\text{mes}$ )	<b>1,10</b>	<b>4,71</b>
Reducción $q_{sol;jul}$ (%) respecto al EO	76,65 %	-
$n_{50,lim}$ ( $\text{h}^{-1}$ )	-	-
$n_{50}$ ( $\text{h}^{-1}$ )	<b>5,74</b>	<b>7,20</b>
Reducción $n_{50}$ (%) respecto al EO	20,30 %	-

Tab. 45. EA, comprobación HE-1 y comparación respecto al EO. Fuente: Elaboración propia.

**6. CASO DE ESTUDIO**

Tras la reforma, en el estado actual se aprecia una reducción del coeficiente global de transmisión de calor K de casi el 20% respecto al estado original. A pesar de esta reducción, sigue siendo un valor elevado (2,33 W/m<sup>2</sup>K) en comparación con el valor límite exigido en el CTE de 2019 (0,85 W/m<sup>2</sup>K). Sin embargo, tampoco alcanza el valor límite de K establecido en la normativa de aplicación de la reforma en 2004, la NBE-CT-79, de 1,14 W/m<sup>2</sup>C. A su vez, a pesar de no establecer un coeficiente límite de transmisión de calor global, los valores de las transmitancias térmicas de la mayoría de los elementos de la envolvente están alejados de los valores límites exigidos en el CTE-DB-HE de 2006, siendo una reforma obsoleta en términos energéticos. Esto se debe, como se ha mencionado anteriormente, a la no intervención en los cerramientos cuando suponen un 55,85% del total de la envolvente térmica. Esto indica que se debe proponer una mejora de actuación en los cerramientos, compatible con su valor patrimonial, debido a la gran repercusión que suponen respecto a la envolvente térmica. El parámetro del control solar (1,10 kWh/m<sup>2</sup>mes), a pesar de no ser de aplicación en la normativa de aplicación de la reforma, se logró reducir en más del 75% debido a la instalación de protecciones solares como las persianas y las rejas de seguridad a modo de lamas horizontales, cumpliendo así con el valor límite establecido en el CTE-DB-HE de 2019 de 2,00 kWh/m<sup>2</sup>mes.

En la Tab.46 se muestran los resultados obtenidos respecto a la demanda energética anual referida al bloque en su conjunto, tanto de calefacción como de refrigeración y la total, así como las pérdidas energéticas según sus elementos, además de la reducción de demanda energética respecto al estado original:

COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA GENERAL DEL EA Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EO								
ESTADO ACTUAL								
(kWh/m <sup>2</sup> año)	Demán. energ. EO	Demán. energ. EA	Reducción demanda respecto al EO (%)	Pérd. Cerr.	Pérd. Cub.	Pérd. Huec.	Pérd. Vent.	Ganancia Solar Huec.
CAL.	-51,13	<b>-28,99</b>	<b>43,30 %</b>	<b>-30,24</b>	<b>-3,17</b>	<b>-11,54</b>	<b>-7,76</b>	<b>12,87</b>
REF.	28,00	<b>14,48</b>	<b>48,29 %</b>	<b>-0,23</b>	<b>0,20</b>	<b>0,17</b>	<b>-0,51</b>	<b>4,05</b>
TOT.	79,13	<b>43,47</b>	<b>45,06 %</b>	<b>30,47</b>	<b>3,37</b>	<b>11,71</b>	<b>8,27</b>	<b>16,92</b>

**Tab. 46.** EA, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EO. Fuente: Elaboración propia.

La demanda energética anual de calefacción es de 28,99 kWh/m<sup>2</sup>año y la de refrigeración de 14,48 kWh/m<sup>2</sup>año, lo que resulta una demanda anual total de 43,47 kWh/m<sup>2</sup>año. Esta demanda total supone una reducción del 45,06% respecto a la del estado original, concretamente se redujo un 43,30% en la demanda anual de calefacción y un 48,29% en la de refrigeración. Esta reducción es considerable si se tiene en cuenta que ha sido obtenida únicamente con la sustitución de la cubierta y carpinterías, aun teniendo unas propiedades térmicas mejorables. Se observa que la mayor parte de pérdidas térmicas se siguen produciendo mediante las paredes de los cerramientos (30,47 kWh/m<sup>2</sup>año), influyendo sobre todo en la demanda de calefacción con 30,24 kWh/m<sup>2</sup>año. Las ganancias por la radiación solar a través de las ventanas (12,87 kWh/m<sup>2</sup>año para calefacción y 4,05 kWh/m<sup>2</sup>año en refrigeración) se han visto reducidas debido a la incorporación del doble acristalamiento y las protecciones solares. Con esta mejora en los huecos, se ha

6. CASO DE ESTUDIO

minimizado también las pérdidas rebajándolas a 11,71 kWh/m<sup>2</sup>año en total, siendo en gran parte en calefacción (11,54 kWh/m<sup>2</sup>año), y se ha reducido a su vez las pérdidas por la permeabilidad al aire a través de ellos, alcanzando 7,76 kWh/m<sup>2</sup>año en calefacción. Los puentes térmicos no se resolvieron, provocando pérdidas generalizadas en el conjunto del bloque, siendo más notorias en demanda de calefacción que de refrigeración.

En la Tab.47 se reflejan los resultados obtenidos respecto a la demanda energética de las mismas dos zonas del edificio que en el estado original, NE y SO, clasificadas según la planta y la orientación en la que se encuentran, así como las principales pérdidas que se producen, además del porcentaje de mejora respecto al estado original.

COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA POR ORIENTACIONES DEL EA Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EO				
ESTADO ACTUAL				
CAL / REF (kWh/m <sup>2</sup> mes)	Planta Intermedia		Planta Cubierta	
	NE	SO	NE	SO
Demanda energética (EO)	-75,17 / 25,46	-46,80 / 34,64	-113,75 / 41,49	-91,13 / 45,40
Demanda energética (EA)	<b>-65,41 / 15,49</b>	<b>-42,97 / 19,98</b>	<b>-81,5 / 19,11</b>	<b>-63,36 / 21,06</b>
Reducción (%) deman. energ. respecto al EO	<b>12,99 / 39,16</b>	<b>8,19 / 42,33</b>	<b>28,35 / 53,94</b>	<b>30,47 / 53,61</b>
Pérd. Cerram.	<b>-61,14 / -1,48</b>	<b>-58,45 / -0,91</b>	<b>-56,54 / 0,74</b>	<b>-53,59 / 1,25</b>
Pérd. Cubierta	<b>0,00 / 0,00</b>	<b>0,00 / 0,00</b>	<b>-13,18 / 0,96</b>	<b>-13,00 / 1,01</b>
Pérd. Huecos	<b>-16,53 / -0,17</b>	<b>-14,47 / 0,52</b>	<b>-15,21 / 0,60</b>	<b>-13,80 / 0,85</b>
Pérd. Ventilac.	<b>-7,24 / -0,41</b>	<b>-7,78 / -0,53</b>	<b>-7,19 / -0,46</b>	<b>-7,52 / -0,51</b>
Ganancia Solar Huecos	<b>9,93 / 6,17</b>	<b>25,38 / 9,23</b>	<b>8,17 / 5,46</b>	<b>18,43 / 6,33</b>

Tab. 47. EA, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EO. Fuente: Elaboración propia.

Se sigue apreciando la superioridad de la demanda de calefacción en las orientaciones NE (65,41 y 81,50 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente) respecto de las fachadas SO (42,97 y 63,36 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente), debido a las enormes pérdidas por cerramientos y a la poca ganancia solar al NE. Lo contrario ocurre en las orientaciones SO (19,98 y 21,06 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente), donde la demanda de refrigeración sobrepasa a las de las fachadas NE (15,49 y 19,11 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente). Además, se observa que la planta de cubierta mantiene mayores demandas que la planta intermedia, tanto de calefacción como de refrigeración y en sendas orientaciones. Sin embargo, es la planta de cubierta la que ha conseguido mayores reducciones de demanda tras la sustitución de las placas de uralita por el panel sándwich con aislamiento. Concretamente, se observa una mayor reducción en las demandas de refrigeración que en las de calefacción, y sobre todo en las orientaciones SO (42,33% en planta intermedia y 53,61% en cubierta), debido a los elementos de protección solar.

# 7

**DESARROLLO:  
RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN**

## 7.1. ESTRATEGIAS PASIVAS

La intención de este capítulo, y en general del presente trabajo, es adecuar la caracterización del caso de estudio a las exigencias europeas actuales de eficiencia energética, compatibilizando dichas medidas con la preservación del interés patrimonial que presenta el edificio. Se plantea como “buena práctica” para la posible adaptación de los numerosos edificios que se encuentran en condiciones similares y con obsolescencia desde el punto de vista energético.

En el desarrollo de este TFG se pretende dar respuesta a dicha problemática. El caso de estudio seleccionado no solo presenta el conflicto entre el cumplimiento de las exigencias europeas sobre eficiencia energética y la conservación del interés arquitectónico, sino que, además, cuenta con la limitación añadida de tratarse de viviendas sociales con dimensiones mínimas. Así pues, se plantea un reto con diversas limitaciones de partida, y que, a su vez, se procura alcanzar exclusivamente mediante soluciones pasivas de rehabilitación energética aplicadas a la envolvente térmica del edificio.

### 7.1.1. PROPUESTAS EN LA ENVOLVENTE

Este capítulo tiene como finalidad la propuesta y el análisis del comportamiento energético del caso de estudio en su estado propuesta (EP), motivo del presente TFG, correspondiente a la Tarea 3 de la metodología.

En la Tab.48, en forma de matriz, se incluyen los distintos tipos de estrategias y actuaciones pasivas y su idoneidad para lograr compatibilidad con el valor patrimonial del edificio caso de estudio.

SISTEMA ENVOLVENTE	TIPO DE ESTRATEGIA	CONSERVACIÓN DEL VALOR PATRIMONIAL
CERRAMIENTOS	Aislamiento por el interior	SÍ
	Aislamiento por el exterior	NO
CUBIERTA	Aislamiento por el interior	SÍ
	Aislamiento por el exterior	SÍ
HUECOS	Nueva carpintería adicional a las existentes y nuevo acristalamiento	NO
	Sustitución de carpintería existente y nuevo acristalamiento	SÍ
	Protecciones solares dentro del hueco (laminas, persianas...)	SÍ
	Protecciones solares fuera del hueco (toldo, protección lateral...)	NO
	Ventilación nocturna	SÍ

**Tab. 48.** Matriz de tipos de estrategias según la conservación del valor patrimonial del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

## 7. DESARROLLO

La intervención en cerramientos es necesaria para alcanzar los estándares actuales energéticos, ya que suponen más de la mitad de la superficie total de la envolvente térmica. El sistema de aislamiento por el interior no supone la alteración del valor patrimonial del edificio, pero puede presentar como inconveniente a nivel de habitabilidad la reducción de la superficie útil de la vivienda. El sistema de aislamiento por el exterior permite resolver de manera uniforme y eficiente el comportamiento térmico del edificio, sin embargo, se descarta esta propuesta por la fuerte transformación estética de la fachada, que alteraría el valor patrimonial del edificio. Por lo tanto, la única solución factible, a pesar de sus limitaciones, que respeta dicho valor y mejora la eficiencia energética es el sistema de aislamiento térmico por el interior, pero se debe mitigar el impacto que supone esta estrategia en la reducción de la superficie de la vivienda. La aplicación de esta solución se lleva a cabo en el apartado 7.1.1.1.

En cubierta, tanto el sistema de aislamiento por el exterior como por el interior no interfiere en la conservación del valor patrimonial. Sin embargo, la solución de aislamiento por el interior se desestima por la consiguiente reducción de la altura libre en el interior de las viviendas, que ya es mínima en la actualidad con 2,20 metros. Por lo tanto, la intervención escogida en cubierta es el sistema de aislamiento por el exterior, sobre la cubierta reformada en 2004.

Respecto a los huecos, no se contempla en el presente trabajo la incorporación de las nuevas carpinterías manteniendo las existentes, ya que perjudicaría la percepción unitaria de la fachada. La solución que se propone es la sustitución completa de las carpinterías y los vidrios existentes por otras de mejores prestaciones térmicas. También se incluye la sustitución e instalación de protecciones solares adecuadas para el comportamiento energético del edificio. Además, se contempla la apertura/cierra manual de los huecos para la ventilación nocturna, ya que este TFG se centra exclusivamente en estrategias pasivas.

## 7.1.1.1. CERRAMIENTOS

Una vez determinada la estrategia a seguir en cerramientos, se ha buscado la mejor solución para lograr eficiencia energética con una menor reducción de la superficie útil de las viviendas. Para ello se han establecido dos criterios: limitar el incremento del espesor del cerramiento en 5 cm e intentar aproximarse a valores de transmitancia térmica y coeficiente de transmisión de calor global de los Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo.

Aunque se requiere una solución con una gran capacidad aislante térmica, pero con un espesor reducido, se ha llevado a cabo el análisis con dos tipos distintos de aislamiento térmico para determinar el alcance y limitación de cada uno. El primero con poliestireno extruido (XPS), material con unas capacidades térmicas moderadas, pero bastante accesible económicamente. El segundo con un material de cambio de fase o PCM (Aerogel), material con unas capacidades térmicas elevadas, pero con mayor coste económico.

A continuación, se muestra la relación entre el espesor necesario de aislamiento térmico de XPS y aerogel exigidos para valores de transmitancia térmica tanto límites (Fig.42) como orientativos (Fig.44) establecidos por el CTE (Tab.49). Los espesores indicados se determinan para la tipología de cerramiento de la envolvente térmica con mayor transmitancia, aunque se aplicarían a la totalidad de los cerramientos en una solución isótropa. En este caso de estudio, corresponde al Cerramiento 1 de la caracterización constructiva del estado actual, el cual representa una gran parte de la envolvente de la fachada compuesta por un pie de espesor de fábrica de ladrillo visto.

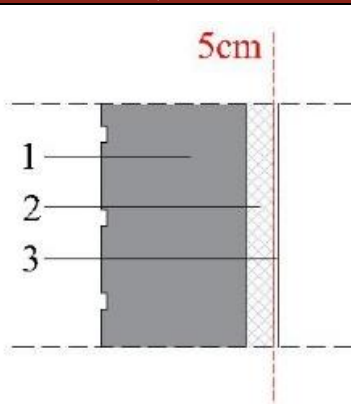
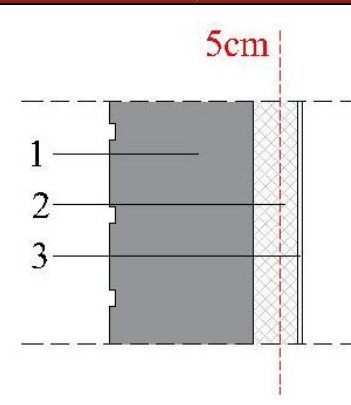
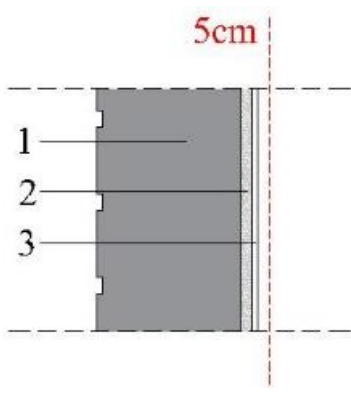
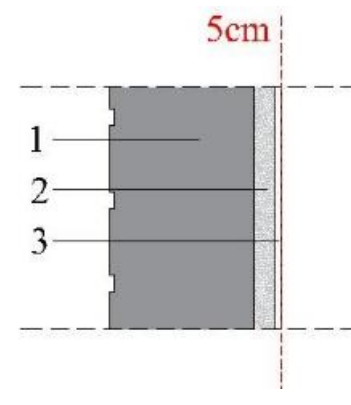
Tabla a-Anejo E. Transmitancia térmica del elemento,  
 $U$  [ $W/m^2 K$ ]

	Zona Climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior, $U_M, U_S$	0,56	0,50	0,38	0,29	0,27	0,23
Cubiertas en contacto con el aire exterior, $U_C$	0,50	0,44	0,33	0,23	0,22	0,19
Elementos en contacto con espacios no habitables o con el terreno, $U_T$	0,80	0,80	0,69	0,48	0,48	0,48
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana), $U_H$	2,7	2,7	2,0	2,0	1,6	1,5

Fig. 44. Tabla a-Anejo E. Transmitancia térmica del elemento,  $U$ . Fuente: CTE-DB-HE, 2019.



7. DESARROLLO

	$U_{lim} = 0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{orientativa} = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$
XPS		
	$e_{xps} = 5 \text{ cm}$	$e_{xps} = 8 \text{ cm}$
	$U = 0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
Aerogel		
	$e_{aerogel} = 2 \text{ cm}$	$e_{aerogel} = 4 \text{ cm}$
	$U = 0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$
1. Cerramiento existente fachada (26cm) 2. Aislamiento térmico 3. Placa de yeso laminado (1cm)		

**Tab. 49.** Relación de espesor y transmitancia térmica de propuesta con XPS y Aerogel.  
 Fuente: Elaboración propia.

Para alcanzar la transmitancia térmica límite es necesario un espesor de 5 cm de XPS, mientras que con 2 cm de aerogel se consiguen los mismos resultados. Sin embargo, para aproximarse al valor orientativo de transmitancia térmica se requiere de 8 cm de XPS o 4 cm de aerogel. Si, como hemos dicho, fijamos el incremento máximo del espesor del cerramiento en 5 cm, con aislante térmico XPS solo se cumpliría el valor límite de la transmitancia térmica fijado por la normativa, mientras que con 4 cm de aerogel no solo se cumpliría este valor, sino que también se recoge la recomendación del anejo E del DB-HE-1 sobre el valor orientativo que facilita el cumplimiento del coeficiente de transmisión de calor global del edificio. Dado que el presente trabajo se centra en la reducción de la demanda energética, respetando la compatibilidad con el valor patrimonial y las condiciones de habitabilidad, se ha optado por estudiar la solución de 5 cm de XPS y la de 4 cm de aerogel para comprobar la diferencia en la demanda energética que supone una solución respecto de la otra.

## 7. DESARROLLO

En la Fig.45 se muestran las soluciones constructivas del edificio que se han visto modificadas en el Estado Propuesta (con la solución de aerogel) en cuanto a paramentos verticales, y en las Tablas 50-53 se especifican sus propiedades. Las soluciones constructivas propuestas afectan únicamente a la envolvente térmica mostrada en la Fig.37 del estado actual. Aquellas soluciones que no aparecen en este apartado se mantienen exactamente como en el estado actual:

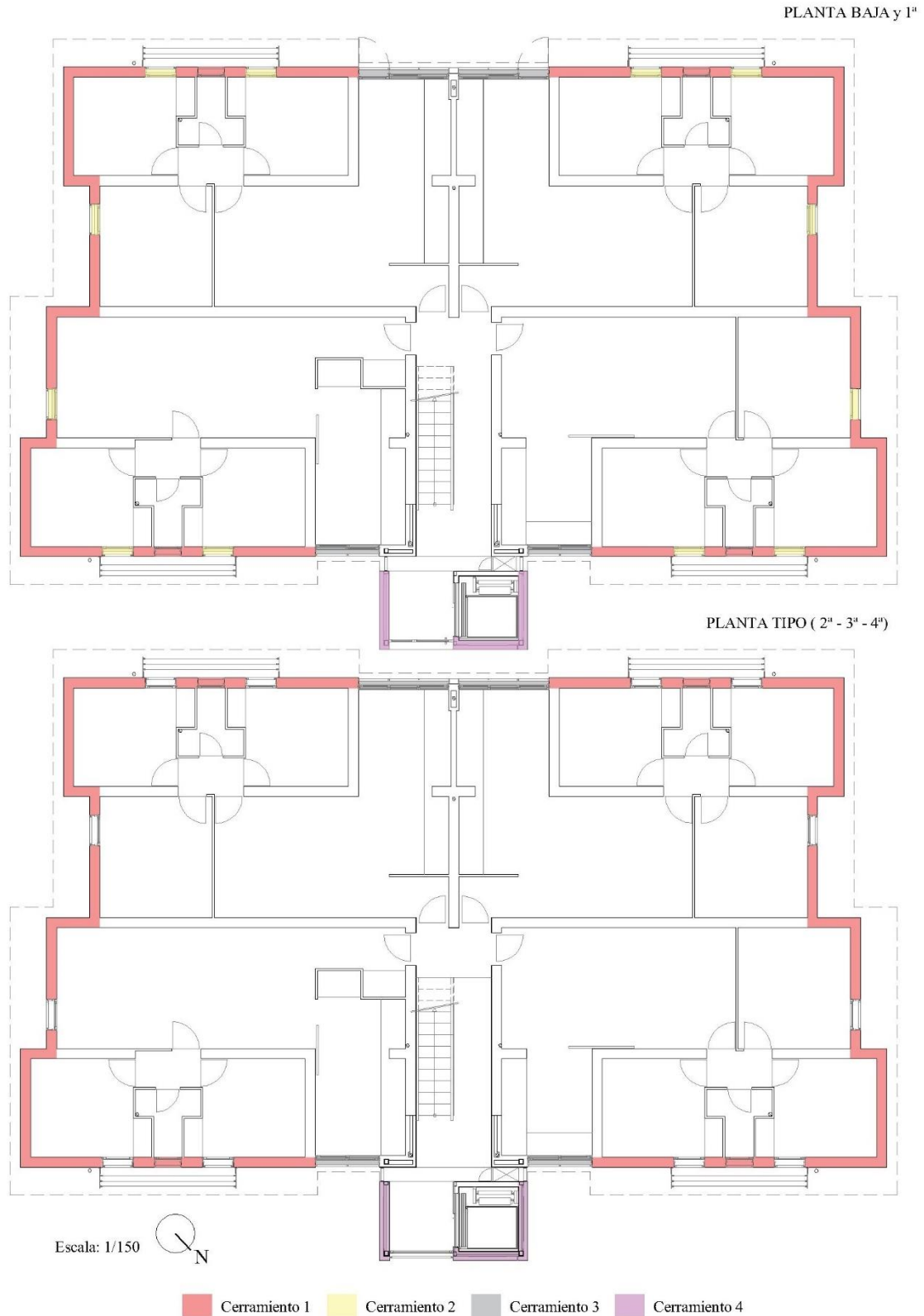
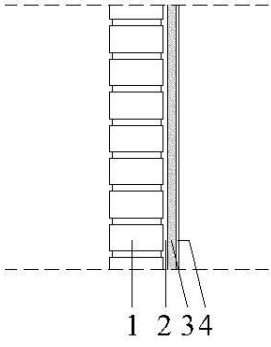
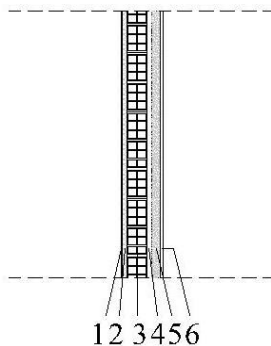


Fig. 45. Planimetría EP de tipología de paramentos verticales. Fuente: Elaboración propia.

7. DESARROLLO

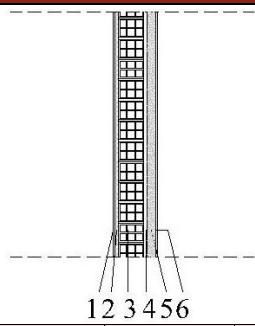
CERRAMIENTO 1					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fábrica de ladrillo macizo métrico o catalán 40 mm &lt; G &lt; 50 mm de resistencia 120 kg/cm<sup>2</sup>, con mortero de cemento 1:3</li> <li>2. Enlucido de yeso d&lt;1000</li> <li>3. Aerogel (0,015 W/m·K)</li> <li>4. Placa de yeso laminado 750 &lt; d &lt; 900</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,24	1,03	2140	1000	0,233
2	0,02	0,40	900	1000	0,050
3	0,04	0,015	230	1000	2,667
4	0,01	0,25	825	1000	0,040
R <sub>si</sub>					0,130
Transmitancia térmica, U = 0,32 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 50. Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Cerramiento 1.  
 Fuente: Elaboración propia.

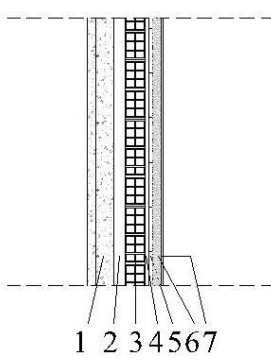
CERRAMIENTO 2					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chapa composite de aluminio tipo Alucobond 6</li> <li>2. XPS expandido con CO<sub>2</sub> (0,034 W/m·K)</li> <li>3. Fábrica de ladrillo hueco doble (60mm&lt;E&lt;90mm) recibido con mortero de cemento 1:3</li> <li>4. Enlucido de yeso d&lt;1000</li> <li>5. Aerogel (0,015 W/m·K)</li> <li>6. Placa de yeso laminado 750 &lt; d &lt; 900</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,006	17,00	7900	460	0,0003
2	0,02	0,034	38	1000	0,588
3	0,09	0,432	930	1000	0,208
4	0,02	0,40	900	1000	0,050
5	0,04	0,015	230	1000	2,667
6	0,01	0,25	825	1000	0,040
R <sub>si</sub>					0,130
Transmitancia térmica, U = 0,27 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 51. Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Cerramiento 2.  
 Fuente: Elaboración propia.

7. DESARROLLO

<b>CERRAMIENTO 3</b>					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chapa composite de aluminio tipo Alucobond 6</li> <li>2. XPS expandido con CO<sub>2</sub> (0,034 W/m·K)</li> <li>3. Fábrica de ladrillo hueco doble (60mm&lt;E&lt;90mm) recibido con mortero de cemento M-5</li> <li>4. Enlucido de yeso d&lt;1000</li> <li>5. Aerogel (0,015 W/m·K)</li> <li>6. Placa de yeso laminado 750&lt; d &lt;900</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,006	17,00	7900	460	0,0003
2	0,02	0,034	38	1000	0,588
3	0,115	0,432	930	1000	0,266
4	0,02	0,40	900	1000	0,050
5	0,04	0,015	230	1000	2,667
6	0,01	0,25	825	1000	0,040
R <sub>si</sub>					0,130
Transmitancia térmica, U = 0,26 W/ m <sup>2</sup> ·K					

**Tab. 52.** Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Cerramiento 3.  
 Fuente: Elaboración propia.

<b>CERRAMIENTO 4</b>					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Panel prefabricado de hormigón armado HA-30 y acero B-500s de 12 cm de espesor</li> <li>2. Cámara de aire vertical sin ventilar de 5 cm</li> <li>3. Fábrica de ladrillo hueco doble (60mm&lt;E&lt;90mm) recibido con mortero de cemento M-5</li> <li>4. Mortero de cemento o cal 1:8 para albañilería y para revoco/enlucido 1600 &lt; d &lt; 1800</li> <li>5. Azulejo cerámico 20 x 20 cm</li> <li>6. Aerogel (0,015 W/m·K)</li> <li>7. Placa de yeso laminado 750&lt; d &lt;900</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,12	2,50	2600	1000	0,048
2					0,180
3	0,07	0,432	930	1000	0,162
4	0,015	1,00	1525	1000	0,015
5	0,015	1,30	2300	840	0,011
6	0,04	0,015	230	1000	2,667
7	0,01	0,25	825	1000	0,040
R <sub>si</sub>					0,130
Transmitancia térmica, U = 0,30 W/ m <sup>2</sup> ·K					

**Tab. 53.** Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Cerramiento 4.  
 Fuente: Elaboración propia.

## 7.1.1.1.1. VALORACIÓN ENERGÉTICA

Tras determinar las soluciones propuestas se ha introducido en el modelo informático ambas soluciones, tanto la de XPS como la de aerogel, de manera individualizada. Como se estableció en la metodología, se mantiene el criterio y rigurosidad del análisis diferenciándolo a nivel de bloque, plantas y orientaciones.

El análisis y cumplimiento de las transmitancias térmicas se ha llevado a cabo a la hora de determinar la solución constructiva, proponiendo una solución adecuada a dichas exigencias.

Para la comprobación del cumplimiento del HE-1, se mantienen los valores límites establecidos en el capítulo 6.4.2. de la valoración energética del estado actual. No obstante, en la Tab.54 se muestran dichos valores junto con los resultados obtenidos respecto al cumplimiento del HE-1, así como la comparación correspondiente a la mejora respecto al estado actual:

COMPROBACIÓN HE-1 DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA			
ESTADO PROPUESTA (CERRAMIENTOS)			
Solución Isótropa por el interior	XPS (5 cm)*	Aerogel (4 cm)*	Estado Actual (EA)
$U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,56	0,56	1,60
$U_{orientativa}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,38	0,38	-
$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,55</b>	<b>0,32</b>	<b>2,21</b>
$K_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,85	0,85	1,14
$K$ (W/m <sup>2</sup> K)	<b>1,56</b>	<b>1,44</b>	<b>2,33</b>
Reducción K (%) respecto al EA	33,05 %	38,20 %	-
$q_{sol;jul,lim}$ (kWh/m <sup>2</sup> mes)	2,00	2,00	-
$q_{sol;jul}$ (kWh/m <sup>2</sup> mes)	<b>1,10</b>	<b>1,10</b>	<b>1,10</b>
Reducción $q_{sol;jul}$ (%) respecto al EA	0,00 %	0,00 %	-
$n_{50,lim}$ (h <sup>-1</sup> )	-	-	-
$n_{50}$ (h <sup>-1</sup> )	<b>5,74</b>	<b>5,74</b>	<b>5,74</b>
Reducción $n_{50}$ (%) respecto al EA	0,00 %	0,00 %	-
*el espesor indicado corresponde solo al aislamiento; el espesor total de la solución aplicada es la suma de dicho aislamiento + 1 cm de placa de yeso laminado			

Tab. 54. EP, comprobación HE-1 y comparación respecto al EA. Cerramientos. Fuente: Elaboración propia.

7. DESARROLLO

Con la propuesta de la solución con XPS, se aprecia una reducción del coeficiente global de transmisión de calor K del 33% respecto al estado actual, mientras que con la solución con aerogel esa reducción es del 38%, con una diferencia del 5% entre las dos soluciones.

En la Tab.55 se muestran los resultados obtenidos de la propuesta respecto a la demanda energética anual referida al bloque en su conjunto, tanto de calefacción como de refrigeración y la total, así como las pérdidas energéticas por cerramientos, además de la reducción de demanda energética respecto al estado actual:

<b>COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA GENERAL DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA</b>				
<b>ESTADO PROPUESTA (CERRAMIENTOS)</b>				
<b>Solución Isótropa por el interior</b>		<b>XPS (5 cm)*</b>	<b>Aerogel (4 cm)*</b>	<b>Estado Actual (EA)</b>
Demanda energética (kWh/m <sup>2</sup> año)	CALEF.	<b>-12,13</b>	<b>-9,66</b>	-28,99
	REFRIG.	<b>15,41</b>	<b>15,64</b>	14,48
	TOTAL	<b>27,54</b>	<b>25,03</b>	43,47
Reducción (%) demanda energética respecto al EA	CALEF.	<b>58,16 %</b>	<b>66,68 %</b>	-
	REFRIG.	<b>-6,42 %</b>	<b>-8,01 %</b>	-
	TOTAL	<b>36,64 %</b>	<b>42,42 %</b>	-
Pérd. Cerramientos (kWh/m <sup>2</sup> año)	CALEF.	<b>-9,17</b>	<b>-5,54</b>	-30,24
	REFRIG.	<b>-0,36</b>	<b>-0,31</b>	-0,23
	TOTAL	<b>9,53</b>	<b>5,85</b>	30,47
Reducción (%) Pérd. Cerramientos respecto al EA	CALEF.	<b>69,69 %</b>	<b>81,69 %</b>	-
	REFRIG.	<b>-56,52 %</b>	<b>-34,78 %</b>	-
	TOTAL	<b>68,72 %</b>	<b>80,80 %</b>	-
*el espesor indicado corresponde solo al aislamiento; el espesor total de la solución aplicada es la suma de dicho aislamiento + 1 cm de placa de yeso laminado				

Tab. 55. EP, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EA. Cerramientos. Fuente: Elaboración propia.

La demanda energética anual de calefacción es de 12,13 kWh/m<sup>2</sup>año con XPS y de 9,66 kWh/m<sup>2</sup>año con aerogel, mientras que la de refrigeración es de 15,41 kWh/m<sup>2</sup>año con XPS y de 15,64 kWh/m<sup>2</sup>año con aerogel. Esto se traduce en una demanda anual total de 27,54 kWh/m<sup>2</sup>año con la solución de XPS y de 25,03 kWh/m<sup>2</sup>año con la solución de aerogel. Lo cual supone, con la solución de XPS, una reducción del 36,64% de la demanda total respecto a la del estado actual, mientras que con la de aerogel se consigue una reducción de la demanda total del 42,42%. En ambas soluciones se llega a reducir más

**7. DESARROLLO**

del 50% la demanda de calefacción respecto al estado actual; sin embargo, también se aprecia un ligero aumento de las demandas de refrigeración, ya que aislando por el interior se dificulta la disipación nocturna en verano, lo cual se reduciría con la ventilación nocturna mediante la apertura de ventanas. Finalmente, la diferencia en la reducción de las demandas energéticas totales entre la solución con XPS y la de aerogel es del 5,78%. Se observa que las pérdidas por cerramientos se han reducido considerablemente, un total del 68,72% con la solución de XPS y un 80,80% con la de aerogel, siendo mayoritariamente producidas en demanda de calefacción en ambas soluciones. Este tipo de estrategia no permite la resolución del puente térmico del encuentro de forjado con fachada, por lo que sigue habiendo pérdidas energéticas relevantes por este motivo.

En la Tab.56 se muestran los resultados obtenidos de la propuesta respecto a la demanda energética de las mismas dos zonas del edificio estudiadas en los modelos anteriores, NE y SO, clasificadas según la planta y la orientación en la que se encuentran, así como la reducción de las demandas respecto al estado actual. Además, para complementar el estudio, en la Tab.57 se expone las pérdidas producidas por cerramientos en esta estrategia y el porcentaje de sus reducciones respecto al estado actual:

<b>COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA POR ORIENTACIONES DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA</b>					
<b>ESTADO PROPUESTA (CERRAMIENTOS)</b>					
<b>CAL / REF</b>				<b>Demanda energética (kWh/m<sup>2</sup>mes)</b>	<b>Reducc. (%) demanda energ. respecto al EA</b>
Solución Isótropa por el interior	XPS (5cm)*	Planta Intermedia	NE	<b>-26,63 / 17,19</b>	<b>59,29 / -10,97</b>
			SO	<b>-11,26 / 22,36</b>	<b>73,80 / -11,91</b>
		Planta Cubierta	NE	<b>-47,38 / 20,63</b>	<b>41,87 / -7,95</b>
			SO	<b>-30,77 / 22,36</b>	<b>51,44 / -6,17</b>
	Aerogel (4cm)*	Planta Intermedia	NE	<b>-20,50 / 17,70</b>	<b>68,66 / -14,27</b>
			SO	<b>-7,40 / 22,94</b>	<b>82,77 / -20,04</b>
		Planta Cubierta	NE	<b>-41,84 / 20,95</b>	<b>48,66 / -9,63</b>
			SO	<b>-25,45 / 22,66</b>	<b>59,83 / 7,60</b>
*el espesor indicado corresponde solo al aislamiento; el espesor total de la solución aplicada es la suma de dicho aislamiento + 1 cm de placa de yeso					

**Tab. 56.** EP, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EA. Cerramientos. Fuente: Elaboración propia.

<b>COMPROBACIÓN PÉRDIDAS POR CERRAMIENTOS POR ORIENTACIONES DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA</b>					
<b>ESTADO PROPUESTA (CERRAMIENTOS)</b>					
<b>CAL / REF</b>				<b>Pérd. Cerramientos (kWh/m<sup>2</sup>mes)</b>	<b>Reducc. (%) Pérd. Cerramientos respecto al EA</b>
Solución Isótropa por el interior	XPS (5cm)*	Planta Intermedia	NE	<b>-17,62 / -1,51</b>	<b>71,18 / -2,03</b>
			SO	<b>-19,72 / -1,37</b>	<b>66,26 / -50,55</b>
		Planta Cubierta	NE	<b>-16,75 / -0,20</b>	<b>70,37 / 127,03</b>
			SO	<b>-15,16 / -0,02</b>	<b>71,71 / 101,60</b>
	Aerogel (4cm)*	Planta Intermedia	NE	<b>-10,64 / -1,23</b>	<b>82,60 / 16,89</b>
			SO	<b>-13,15 / -1,15</b>	<b>77,50 / -26,37</b>
		Planta Cubierta	NE	<b>-10,01 / -0,23</b>	<b>82,29 / 131,08</b>
			SO	<b>-9,09 / -0,13</b>	<b>83,04 / 110,40</b>

\*el espesor indicado corresponde solo al aislamiento; el espesor total de la solución aplicada es la suma de dicho aislamiento + 1 cm de placa de yeso

**Tab. 57.** EP, comprobación de pérdidas por cerramientos por orientaciones y comparación respecto al EA. Cerramientos. Fuente: Elaboración propia.

Se mantiene en ambas soluciones la superioridad de la demanda de calefacción en las orientaciones NE (20,50 y 41,84 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente, en solución con aerogel) respecto de las fachadas SO (7,40 y 25,45 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente, en solución con aerogel). Lo contrario ocurre con la demanda de refrigeración en las orientaciones SO (22,94 y 22,66 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente, en solución con aerogel), la cual sobrepasa a la de las fachadas NE (17,70 y 20,95 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente, en solución con aerogel). La mayor reducción se ha observado, en ambas soluciones, en la demanda de calefacción de planta intermedia y en orientación SO (73,80% con XPS y 82,77% con aerogel), ya que es menos demandante que la planta de cubierta y que la orientación NE en cuanto a calefacción. Sin embargo, esto conlleva que la demanda de refrigeración al SO también aumente (un 11,91% con XPS y un 20,04% con aerogel). Además, se observa que en ambas soluciones la planta intermedia mantiene mayores demandas que la planta de cubierta, tanto de calefacción como de refrigeración y en sendas orientaciones. Sin embargo, es la planta de cubierta la que ha conseguido mayores reducciones de demanda con ambas soluciones. Con todo esto, la diferencia entre ambas soluciones en la reducción de la demanda de calefacción es del 6,8%, tomando como referencia la orientación más exigida en esta demanda (planta cubierta orientación NE). Sin embargo, la diferencia en el aumento de la demanda de refrigeración entre las dos soluciones es aproximadamente del 8%, tomando la orientación más demandante en refrigeración (planta intermedia orientación SO). Es decir, la reducción de la demanda de calefacción es mayor con la solución de aerogel que con la de XPS, pero también es mayor el aumento de la de refrigeración. Sin embargo, este aumento no supone una diferencia muy elevada en valores absolutos de la demanda de refrigeración, al contrario de lo que ocurre con la demanda de calefacción.



## 7.1.1.2. HUECOS

En la estrategia referida a huecos se proponen varias soluciones, cada una de distinta naturaleza y objetivos. A pesar de que todas son soluciones aplicadas en huecos, se han estudiado y analizado separadamente para determinar el impacto y repercusión de cada una de ellas. Dichas soluciones son: nuevas carpinterías con rotura de puente térmico con nuevos vidrios bajo-emisivos, nuevas protecciones solares adecuadas a la orientación de las fachadas y la ventilación nocturna.

Primeramente, se caracteriza la solución relacionada con las carpinterías y vidrios. Las propiedades de esta solución se han establecido, del mismo modo que se ha propuesto en la solución para cerramientos, en base al cumplimiento de las transmitancias orientativas del CTE para huecos (Fig.44). Se ha optado por una solución isótropa sustituyendo todas las carpinterías pertenecientes a la envolvente térmica por carpinterías de PVC con RPT de dos cámaras y vidrios dobles bajo-emisivos (0,03-0,1) de 4/20/4.

Como la demanda de calefacción en el estado actual es la dominante, se ha decidido aplicar esta solución de forma isótropa, para captar la máxima radiación solar posible mediante los vidrios bajo-emisivos. El inconveniente de esta solución isótropa, sobre todo en orientaciones sur, es el aumento de la demanda de refrigeración en los meses de verano. No obstante, el evitar y suplir este aumento se delegó a la solución de protecciones solares y ventilación. Se desestimó la aplicación anisótropa de vidrios bajo-emisivos junto con vidrios de control solar por varias razones. La primera, por motivos energéticos, ya que la utilización de vidrios de control solar reduciría la demanda de refrigeración en verano, pero la demanda de calefacción no disminuiría en la misma medida que con el vidrio bajo-emisivo. Para reducir la demanda de refrigeración existen otras variantes además del vidrio de control solar, como son la ventilación y las protecciones solares, a pesar de que éstas últimas interfirieran también mermando la reducción de la demanda de calefacción. El segundo motivo, por condiciones de habitabilidad, debido a que el vidrio de control solar aminora también la luminosidad a través de ellos. Debido a la escasa iluminación natural de las viviendas del caso de estudio, se aumentaron las superficies de los huecos de fachada en la reforma de 2004, ya que la única entrada de iluminación es a través de la ventana de la cocina. Por estos motivos, se descartó el uso de vidrios de control solar y se optó por la solución isótropa de vidrios bajo-emisivos.

La segunda solución propuesta en huecos es la instalación de protecciones solares de manera anisótropa, únicamente en fachadas SE y SO. Esta solución está enfocada, como se ha explicado anteriormente, a paliar el aumento de la demanda de refrigeración por los vidrios bajo-emisivos y reducirla optimizando las ganancias solares a través de los huecos de fachada. Esta optimización se alcanza mediante unas protecciones solares adaptables a las condiciones climáticas. Por ello, se ha propuesto un sistema de lamas horizontales orientables de 15 cm para el control de las ganancias solares, sumado a las persianas existentes. En la praxis, las persianas tienen la limitación de permitir cierta ganancia solar para dotar de iluminación al espacio, por lo que las lamas orientables logran un mejor control solar que las persianas posibilitando a su vez la iluminación del espacio. Asimismo, el sistema de protecciones solares mediante lamas horizontales funciona a su vez como rejas de seguridad, presentes en todos los huecos, sin alterar la caracterización patrimonial del bloque.

## 7. DESARROLLO

La última solución propuesta en huecos está vinculada a la ventilación. Se ha propuesto la ventilación nocturna natural mediante la apertura de ventanas manualmente como medida pasiva para incidir en la reducción de la demanda de refrigeración.

En la Fig.46 se muestran las soluciones constructivas del edificio que se han visto modificadas en el estado propuesta respecto a los huecos, y en la Tabla 58 se especifican sus propiedades. Las soluciones constructivas propuestas afectan únicamente a la envolvente térmica mostrada en la Fig. 37 del estado actual. Aquellas soluciones que no aparecen en este apartado se mantienen exactamente como en el estado actual.

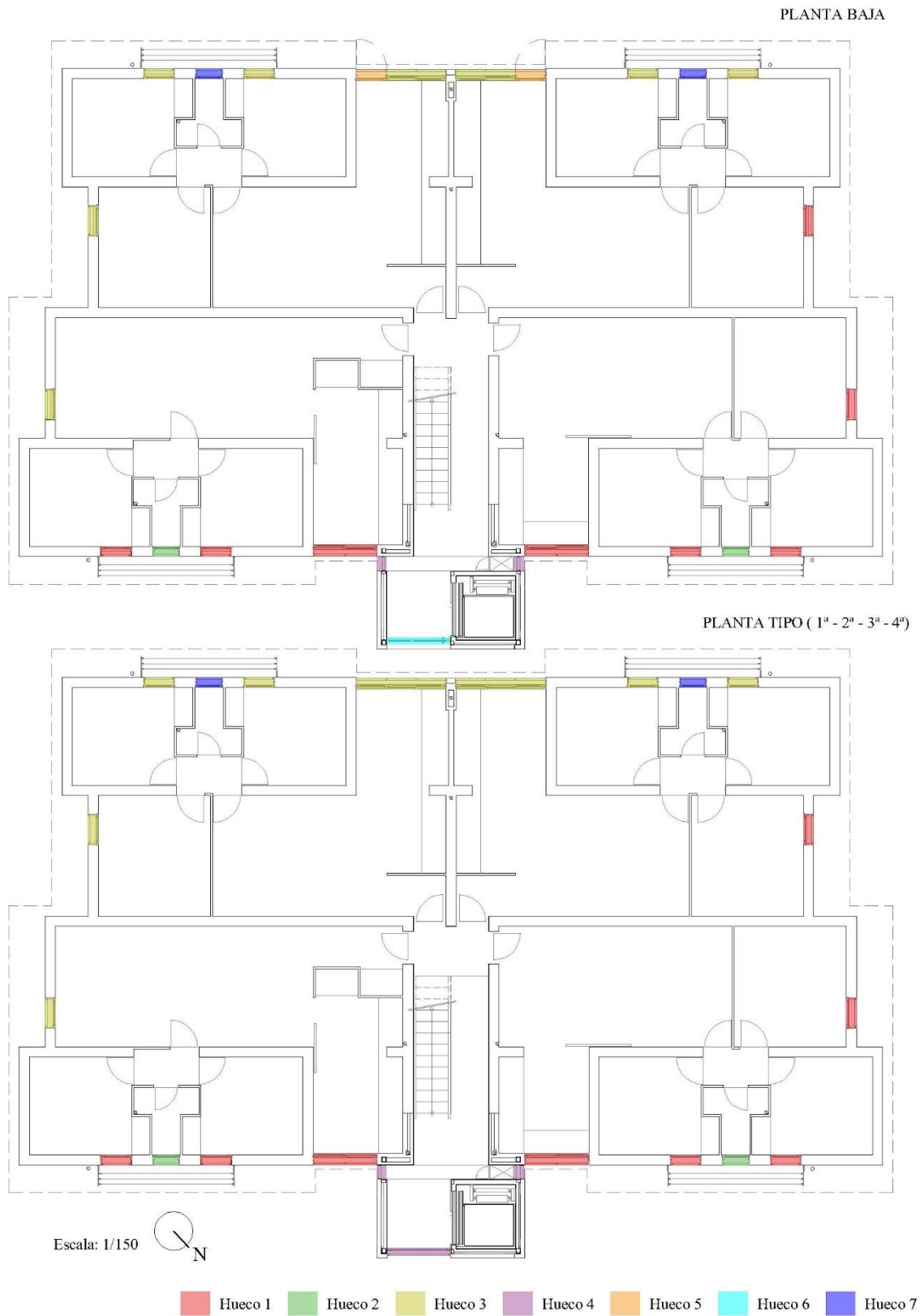


Fig. 46. Planimetría EP de tipología de huecos. Fuente: Elaboración propia.

7. DESARROLLO

HUECOS							
Hueco	1	2	3	4	5	6	7
Orientación	NO, NE	NE	SO, SE	NE	SO	NE	SO
Marco	PVC con RPT de 2 cámaras	PVC con RPT de 2 cámaras	PVC con RPT de 2 cámaras	PVC con RPT de 2 cámaras	PVC con RPT de 2 cámaras	PVC con RPT de 2 cámaras	PVC con RPT de 2 cámaras
$U_M$ (W/m <sup>2</sup> ·K)	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
% marco	20	20	20	20	20	20	20
Vidrio	Doble bajo-emisivo (0,03-0,1)	Doble bajo-emisivo (0,03-0,1)	Doble bajo-emisivo (0,03-0,1)	Doble bajo-emisivo (0,03-0,1)	Doble bajo-emisivo (0,03-0,1)	Doble bajo-emisivo (0,03-0,1) + Laminar de seguridad	Doble bajo-emisivo (0,03-0,1)
Espesor (mm)	4/20/4	4/20/4	4/20/4	4/20/4	4/20/4	6-6/20/4	4/20/4
$U_V$ (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
Protección solar	Persiana y rejas móviles	Rejas fijas	Persiana y lamas orient.	Rejas fijas	Persiana y lamas orient.	Rejas fijas	Lamas orient.
Incremento $U_H$ por puente térmico con cajón de persiana, %	15%	-	15%	-	15%	-	-
$U_H$ (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>1,98</b> W/m <sup>2</sup> ·K	<b>1,72</b> W/m <sup>2</sup> ·K	<b>1,98</b> W/m <sup>2</sup> ·K	<b>1,72</b> W/m <sup>2</sup> ·K	<b>1,98</b> W/m <sup>2</sup> ·K	<b>1,72</b> W/m <sup>2</sup> ·K	<b>1,72</b> W/m <sup>2</sup> ·K

Tab. 58. Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Huecos. Fuente: Elaboración propia.

## 7.1.1.2.1. VALORACIÓN ENERGÉTICA

Tras establecer las actuaciones propuestas se introdujeron en el modelo informático dichas soluciones de manera individualizada. A continuación, se muestra el estudio individualizado de cada una de las soluciones siguiendo el mismo orden en que se han desarrollado en el apartado anterior, empezando por la solución de carpinterías y vidrios, continuando por la solución de protecciones solares y terminando con los resultados de la propuesta de ventilación nocturna. Se mantuvo el estudio y análisis energético de las propuestas diferenciando a nivel de bloque, plantas y orientaciones en cada una de las soluciones.

En primer lugar, se expone el análisis de la propuesta de la sustitución de carpinterías y vidrios. El análisis y cumplimiento de las transmitancias térmicas se ha llevado a cabo a la hora de determinar la solución constructiva, proponiendo una solución adecuada a dichas exigencias.

Los valores límites exigidos para el cumplimiento del HE-1 son los establecidos en el capítulo 6.4.2. de la valoración energética del estado actual. No obstante, en la Tab.59 se muestran dichos valores junto con los resultados obtenidos respecto al cumplimiento del HE-1, así como la comparación correspondiente a la mejora respecto al estado actual:

COMPROBACIÓN HE-1 DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA		
ESTADO PROPUESTA (HUECOS)		
Solución Isótropa	PVC (RPT 2 cámaras) 4-20-4 (bajo emisivo 0,03-0,1)	Estado Actual (EA)
$U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	2,30	-
$U_{orientativa}$ (W/m <sup>2</sup> K)	2,00	-
$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	<b>1,98</b>	<b>4,31</b>
$K_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,85	1,14
$K$ (W/m <sup>2</sup> K)	<b>2,06</b>	<b>2,33</b>
Reducción $K$ (%) respecto al EA	11,59 %	-
$q_{sol;jul,lim}$ (kWh/m <sup>2</sup> mes)	2,00	-
$q_{sol;jul}$ (kWh/m <sup>2</sup> mes)	<b>1,10</b>	<b>1,10</b>
Reducción $q_{sol;jul}$ (%) respecto al EA	0,00 %	-
$n_{50,lim}$ (h <sup>-1</sup> )	-	-
$n_{50}$ (h <sup>-1</sup> )	<b>3,10</b>	<b>5,74</b>
Reducción $n_{50}$ (%) respecto al EA	45,99 %	-

Tab. 59. EP, comprobación HE-1 y comparación respecto al EA. Huecos: carpinterías y vidrios. Fuente: Elaboración propia.

**7. DESARROLLO**

Con la solución propuesta de carpintería de PVC con RPT y vidrio doble bajo-emisivo 4/20/4 se consigue una transmitancia térmica de 1,98 W/m<sup>2</sup>K, menor incluso que la transmitancia orientativa del anejo E del CTE (2,00 W/m<sup>2</sup>K).

En esta propuesta se aprecia una reducción del coeficiente global de transmisión de calor K de aproximadamente el 12% respecto al estado actual, con un valor de 2,06 W/m<sup>2</sup>K. El parámetro de la relación del cambio de aire (3,10 h<sup>-1</sup>) se ha reducido un 45,99% respecto al estado actual debido a la mejora de la estanqueidad de las carpinterías.

En la Tab.60 se muestran los resultados obtenidos de la propuesta respecto a la demanda energética anual referida al bloque en su conjunto, tanto de calefacción como de refrigeración y la total, así como las pérdidas energéticas por huecos, además de la reducción de demanda energética conseguida respecto al estado actual:

<b>COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA GENERAL DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA</b>			
<b>ESTADO PROPUESTA (HUECOS)</b>			
<b>Solución Isótropa</b>		<b>PVC (RPT 2 cámaras) 4-20-4 (bajo emisivo 0,03-0,1)</b>	<b>Estado Actual (EA)</b>
Demanda energética (kWh/m <sup>2</sup> año)	CALEF.	<b>-25,33</b>	-28,99
	REFRIG.	<b>14,76</b>	14,48
	TOTAL	<b>40,09</b>	43,47
Reducción (%) demanda energética respecto al EA	CALEF.	<b>12,63 %</b>	-
	REFRIG.	<b>-1,93 %</b>	-
	TOTAL	<b>7,77 %</b>	-
Pérd. Huecos (kWh/m <sup>2</sup> año)	CALEF.	<b>-6,07</b>	-11,54
	REFRIG.	<b>0,46</b>	0,17
	TOTAL	<b>6,53</b>	11,71
Reducción (%) Pérd. Huecos respecto al EA	CALEF.	<b>47,40 %</b>	-
	REFRIG.	<b>-170,58 %</b>	-
	TOTAL	<b>44,23 %</b>	-

**Tab. 60.** EP, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EA. Huecos: carpinterías y vidrios. Fuente: Elaboración propia.

La demanda energética anual de calefacción es de 25,33 kWh/m<sup>2</sup>año y 14,76 kWh/m<sup>2</sup>año la de refrigeración. Esto supone una demanda total de 40,09 kWh/m<sup>2</sup>año, significando una reducción del 7,77% de dicha demanda respecto a la del estado actual. La demanda de calefacción se llega a reducir entorno a un 12,63% mientras se aprecia un ligero aumento del 1,93% en la demanda de refrigeración respecto al estado actual. Este hecho es causa de la propia solución isótropa de vidrios bajo-emisivos, como ya se adelantaba anteriormente, y que se afronta con otras soluciones. Se observa que las pérdidas por

7. DESARROLLO

huecos se han reducido considerablemente, un total del 44,23%, siendo mayoritariamente producidas en demanda de calefacción (6,07 kWh/m<sup>2</sup>año). Sin embargo, es en demanda de calefacción donde se ha conseguido la mayor reducción de pérdidas por huecos (47,40%), mientras que en refrigeración han aumentado un 170,58%.

En la Tab.61 se muestran los resultados obtenidos de la propuesta respecto a la demanda energética de las mismas dos zonas del edificio estudiadas en los modelos anteriores, NE y SO, clasificadas según la planta y la orientación en la que se encuentran, así como la reducción de las demandas respecto al estado actual. Además, para complementar el estudio, en la Tab.62 se expone las pérdidas producidas por los huecos en esta estrategia y el porcentaje de sus reducciones respecto al estado actual:

COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA POR ORIENTACIONES DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA					
ESTADO PROPUESTA (HUECOS)					
CAL / REF				Demanda energética (kWh/m <sup>2</sup> mes)	Reducc. (%) demanda energ. respecto al EA
Solución Isótropa	PVC (RPT 2 cámaras) 4-20-4 (bajo emisivo 0,03-0,1)	Planta Intermedia	NE	<b>-58,82 / 15,55</b>	<b>10,07 / -0,39</b>
			SO	<b>-36,35 / 20,31</b>	<b>15,41 / -1,65</b>
		Planta Cubierta	NE	<b>-76,34 / 19,52</b>	<b>6,33 / -2,15</b>
			SO	<b>-57,89 / 21,19</b>	<b>8,63 / -5,63</b>

Tab. 61. EP, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EA. Huecos: carpinterías y vidrios. Fuente: Elaboración propia.

COMPROBACIÓN PÉRDIDAS EN HUECOS POR ORIENTACIONES DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA					
ESTADO PROPUESTA (HUECOS)					
CAL / REF				Pérd. Huecos (kWh/m <sup>2</sup> mes)	Reducc. (%) Pérd. Huecos respecto al EA
Solución Isótropa	PVC (RPT 2 cámaras) 4-20-4 (bajo emisivo 0,03-0,1)	Planta Intermedia	NE	<b>-9,17 / 0,09</b>	<b>44,52 / 152,94</b>
			SO	<b>-6,43 / 1,05</b>	<b>55,56 / -101,92</b>
		Planta Cubierta	NE	<b>-8,53 / 0,66</b>	<b>43,92 / -10,00</b>
			SO	<b>-6,62 / 1,02</b>	<b>52,03 / -20,00</b>

Tab. 62. EP, comprobación de pérdidas por huecos por orientaciones y comparación respecto al EA. Huecos: carpinterías y vidrios. Fuente: Elaboración propia.

En general se han conseguido unas reducciones de demanda de calefacción notables, siendo los huecos un 8,90% del total de la envolvente térmica. Sin embargo, la demanda de refrigeración se ha visto ligeramente aumentada en todas las orientaciones y en todas las plantas por las características de la propia solución. Se mantiene la superioridad de la demanda de calefacción en las orientaciones NE (58,82 y 76,34 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente) respecto de las fachadas SO (36,35 y 57,89

7. DESARROLLO

kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente). Lo contrario ocurre con la demanda de refrigeración en las orientaciones SO (20,31 y 21,19 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente), la cual sobrepasa a la de las NE (15,55 y 19,52 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente). La mayor reducción se ha observado en la demanda de calefacción de planta intermedia y en orientación SO (15,41%), ya que es menos demandante que la planta de cubierta y que la orientación NE en cuanto a calefacción. Sin embargo, esto conlleva que la demanda de refrigeración al SO también aumente, hasta un 5,63% en planta de cubierta. La mayor demanda de calefacción se localiza en la planta de cubierta en orientación NE (76,34 kWh/m<sup>2</sup>mes), siendo la que menos reducción alcanza (6,33%). Por otro lado, la mayor demanda de refrigeración se encuentra también en planta de cubierta, pero en la orientación opuesta, SO (21,19 kWh/m<sup>2</sup>mes), siendo asimismo la que mayor aumento obtiene (5,63%). Además, se observa que la planta de cubierta mantiene mayores demandas que la planta intermedia, tanto de calefacción como de refrigeración, ya que es en la planta intermedia donde se han conseguido mayores reducciones de pérdidas por huecos.

En segundo lugar, se expone el análisis de la propuesta de la instalación anisótropa de las protecciones solares mediante lamas horizontales orientables. En la Tab.63 se muestran los resultados obtenidos respecto al cumplimiento del HE-1, así como la comparación correspondiente a la mejora respecto al estado actual:

COMPROBACIÓN HE-1 DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA		
ESTADO PROPUESTA (HUECOS)		
Solución Anisótropa	Lamas horizontales orientables	Estado Actual (EA)
U <sub>lim</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	2,30	-
U <sub>orientativa</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	2,00	-
U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>4,31</b>	<b>4,31</b>
K <sub>lim</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	0,85	1,14
K (W/m <sup>2</sup> K)	<b>2,33</b>	<b>2,33</b>
Reducción K (%) respecto al EA	0,00 %	-
q <sub>sol;jul,lim</sub> (kWh/m <sup>2</sup> mes)	2,00	-
q <sub>sol;jul</sub> (kWh/m <sup>2</sup> mes)	<b>1,01</b>	<b>1,10</b>
Reducción q <sub>sol;jul</sub> (%) respecto al EA	8,18 %	-
n <sub>50,lim</sub> (h <sup>-1</sup> )	-	-
n <sub>50</sub> (h <sup>-1</sup> )	<b>5,74</b>	<b>5,74</b>
Reducción n <sub>50</sub> (%) respecto al EA	0,00 %	-

Tab. 63. EP, comprobación HE-1 y comparación respecto al EA. Huecos: protecciones solares. Fuente: Elaboración propia.



7. DESARROLLO

Obviamente, la propuesta de protecciones solares no influye en las transmitancias térmicas de los huecos ni supone una mejora del coeficiente global de transmisión de calor K. Por lo tanto, dado que en este apartado se han estudiado las soluciones independientemente, la transmitancia térmica de los huecos y el coeficiente K se mantienen como en el estado actual, ya que no suponen ninguna mejora en cuanto al cumplimiento del HE-1. Únicamente se mejora el coeficiente de control solar ligeramente en un 8%.

En la Tab.64 se muestran los resultados obtenidos de la propuesta respecto a la demanda energética anual referida al bloque en su conjunto, tanto de calefacción como de refrigeración y la total, así como las ganancias solares por huecos, además de la reducción de demanda energética conseguida respecto al estado actual:

<b>COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA GENERAL DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA</b>			
<b>ESTADO PROPUESTA (HUECOS)</b>			
<b>Solución Anisótropa</b>		<b>Lamas horizontales orientables</b>	<b>Estado Actual (EA)</b>
Demanda energética (kWh/m <sup>2</sup> año)	CALEF.	<b>-30,25</b>	-28,99
	REFRIG.	<b>12,45</b>	14,48
	TOTAL	<b>42,70</b>	43,47
Reducción (%) demanda energética respecto al EA	CALEF.	<b>-4,34 %</b>	-
	REFRIG.	<b>14,02 %</b>	-
	TOTAL	<b>1,77 %</b>	-
Ganancia Solar Huecos (kWh/m <sup>2</sup> año)	CALEF.	<b>11,46</b>	12,87
	REFRIG.	<b>1,86</b>	4,05
	TOTAL	<b>13,32</b>	16,92
Reducción (%) Ganancia Solar Huecos respecto al EA	CALEF.	<b>10,95 %</b>	-
	REFRIG.	<b>54,07 %</b>	-
	TOTAL	<b>21,27 %</b>	-

**Tab. 64.** EP, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EA. Huecos: protecciones solares. Fuente: Elaboración propia.

La demanda energética anual de calefacción es de 30,25 kWh/m<sup>2</sup>año y la de refrigeración de 12,45 kWh/m<sup>2</sup>año. Esto supone una demanda total de 42,70 kWh/m<sup>2</sup>año, traduciéndose en una reducción solo del 1,77% de dicha demanda respecto a la del estado actual. Esta solución implica a la mitad de la superficie de los huecos de la envolvente térmica, englobando exclusivamente a dos de las cuatro fachadas del edificio. Por lo tanto, dicha propuesta no significa una gran reducción de la demanda energética a nivel de bloque, pues la solución se encuadra en otro nivel de repercusión más específico, la de reducir la demanda de refrigeración de las fachadas suroeste y sureste. La demanda de

7. DESARROLLO

refrigeración global se llegó a reducir considerablemente en un 14,02% mientras que la de calefacción aumentó ligeramente un 4,34% respecto al estado actual. Se observa que, justo como se pretendía, las ganancias solares por huecos en demanda de refrigeración han disminuido considerablemente, más del 54%. Siendo las ganancias en demanda de calefacción (11,46 kWh/m<sup>2</sup>año) prácticamente la totalidad de las ganancias solares del edificio (13,32 kWh/m<sup>2</sup>año), independientemente de su disminución en un 10,95% respecto al estado actual.

En la Tab.65 se muestran los resultados obtenidos de la propuesta respecto a la demanda energética de las dos zonas del edificio estudiadas, NE y SO, clasificadas según la planta y la orientación en la que se encuentran, así como la reducción de las demandas respecto al estado actual. Además, para complementar el estudio, en la Tab.66 se expone las ganancias solares en huecos en esta estrategia y el porcentaje de sus reducciones respecto al estado actual:

COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA POR ORIENTACIONES DEL EP Y COMPARACION RESPECTO AL EA					
ESTADO PROPUESTA (HUECOS)					
CAL / REF				Demanda energética (kWh/m <sup>2</sup> mes)	Reducc. (%) demanda energ. respecto al EA
Solución Anisótropa	Lamas horizontales orientables	Planta Intermedia	NE	<b>-65,63 / 15,45</b>	<b>-0,34 / 0,26</b>
			SO	<b>-44,14 / 13,47</b>	<b>-2,72 / 32,58</b>
		Planta Cubierta	NE	<b>-81,58 / 19,48</b>	<b>-0,10 / -1,93</b>
			SO	<b>-63,54 / 16,67</b>	<b>-0,28 / 20,84</b>

Tab. 65. EP, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EA. Huecos: protecciones solares. Fuente: Elaboración propia.

COMPROBACIÓN GANANCIA SOLAR POR ORIENTACIONES DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA					
ESTADO PROPUESTA (HUECOS)					
CAL / REF				Ganancia Solar Huecos (kWh/m <sup>2</sup> mes)	Reducc. (%) Ganancia Solar Huecos respecto al EA
Solución Anisótropa	Lamas horizontales orientables	Planta Intermedia	NE	<b>9,93 / 6,17</b>	<b>0,00 / 0,00</b>
			SO	<b>27,25 / 0,94</b>	<b>-7,37 / 89,81</b>
		Planta Cubierta	NE	<b>8,17 / 5,46</b>	<b>0,00 / 0,00</b>
			SO	<b>19,81 / 0,66</b>	<b>-7,37 / 89,57</b>

Tab. 66. EP, comprobación de ganancias solares en huecos por orientaciones y comparación respecto al EA. Huecos: protecciones solares. Fuente: Elaboración propia.

En términos generales, con esta solución se redujo la demanda de refrigeración en las fachadas SO mediante la reducción de las ganancias solares con la instalación de las

## 7. DESARROLLO

protecciones solares. Se han conseguido unas reducciones de demanda de refrigeración más que considerables en orientación SO (32,58% en planta intermedia y 20,84% en planta de cubierta), a la vez que las demandas de calefacción permanecieron prácticamente inalteradas respecto al estado actual. Obviamente, al afectar mayoritariamente a la demanda de refrigeración esta solución, sigue siendo mayor la demanda de calefacción en las orientaciones NE (65,63 y 81,58 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente) respecto de las fachadas SO (44,14 y 63,54 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente). Lo significativo de esta solución es la enorme reducción de las ganancias solares en refrigeración al SO, llegando al 89% tanto en planta intermedia como en cubierta. Dicha reducción conllevó a sobrepasar la demanda de refrigeración de las orientaciones NE (15,45 y 19,48 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente) a la de las fachadas SO (13,47 y 16,67 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente), las cuales son las más demandantes en refrigeración.

En tercer lugar, se refleja el estudio de la propuesta de la incorporación de la ventilación nocturna natural en el uso habitual del edificio, únicamente en condiciones de verano para favorecer la disipación nocturna.

Análogamente a la propuesta de protecciones solares, esta estrategia no influye en las transmitancias térmicas de los huecos ni supone una mejora del coeficiente global de transmisión de calor K. Así pues, la transmitancia térmica de los huecos y el coeficiente K, al igual que el coeficiente de control solar y la relación del cambio de aire, se mantienen como en el estado actual, ya que no supone ninguna mejora en cuanto al cumplimiento del HE-1.

En la Tab.67 se muestran los resultados obtenidos de esta estrategia respecto a la demanda energética anual referida al bloque en su conjunto, tanto de calefacción como de refrigeración y la total, así como las pérdidas por ventilación, además de la reducción de demanda energética conseguida respecto al estado actual:

<b>COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA GENERAL DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA</b>			
<b>ESTADO PROPUESTA (HUECOS)</b>			
<b>Solución Isótropa</b>		<b>Ventilación nocturna</b>	<b>Estado Actual (EA)</b>
Demanda energética (kWh/m <sup>2</sup> año)	CALEF.	<b>-28,99</b>	-28,99
	REFRIG.	<b>11,08</b>	14,48
	<b>TOTAL</b>	<b>40,07</b>	43,47
Reducción (%) demanda energética respecto al EA	CALEF.	<b>0,00 %</b>	-
	REFRIG.	<b>23,48 %</b>	-
	<b>TOTAL</b>	<b>7,82 %</b>	-
Pérd. Ventilación (kWh/m <sup>2</sup> año)	CALEF.	<b>-7,77</b>	-7,76
	REFRIG.	<b>-9,14</b>	-0,51
	<b>TOTAL</b>	<b>16,91</b>	8,27
Reducción (%) Pérd. Ventilación respecto al EA	CALEF.	<b>-0,13 %</b>	-
	REFRIG.	<b>-1692,16 %</b>	-
	<b>TOTAL</b>	<b>-122,85 %</b>	-

**Tab. 67.** EP, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EA. Huecos: ventilación nocturna. Fuente: Elaboración propia.

El enfoque de esta propuesta es incidir en la reducción de la demanda de refrigeración a través del aumento de las pérdidas por ventilación. La demanda energética anual de calefacción permaneció inalterada sin ninguna reducción respecto al estado actual (28,99 kWh/m<sup>2</sup>año), mientras que la de refrigeración se redujo notablemente en un 23,48% alcanzando una demanda de 11,08 kWh/m<sup>2</sup>año. Esto supuso una reducción de la demanda total respecto al estado actual de un 7,82%, con un valor de 40,07 kWh/m<sup>2</sup>año. Si bien no supone una mejora excesiva en la demanda total del edificio, ha tenido un gran impacto en la mejora de la demanda de refrigeración. Dicha reducción es lo que se procuraba, dado que en la demanda de calefacción se ha podido intervenir con otras soluciones más eficientemente. Con esta estrategia se consiguió aumentar las pérdidas por ventilación enormemente a 9,14 kWh/m<sup>2</sup>año (aumento del 1692,16% respecto al estado actual), influyendo exclusivamente en demanda de refrigeración, ya que las pérdidas en demanda de calefacción (7,77 kWh/m<sup>2</sup>año) se mantuvieron prácticamente igual al estado actual con un aumento despreciable del 0,13%.

En la Tab.68 se muestran los resultados obtenidos de la propuesta respecto a la demanda energética de las dos zonas del edificio estudiadas, NE y SO, clasificadas según la planta y la orientación en la que se encuentran, así como la reducción de las demandas respecto al estado actual. Además, para complementar el estudio, en la Tab.69 se expone las pérdidas por ventilación en huecos en esta estrategia y el porcentaje de sus reducciones respecto al estado actual.

COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA POR ORIENTACIONES DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA					
ESTADO PROPUESTA (HUECOS)					
CAL / REF				Demanda energética (kWh/m <sup>2</sup> mes)	Reducc. (%) demanda energ. respecto al EA
Solución Isótropa	Ventilación nocturna	Planta Intermedia	NE	<b>-65,60 / 12,90</b>	<b>-0,29 / 16,72</b>
			SO	<b>-42,98 / 16,60</b>	<b>-0,02 / 16,92</b>
		Planta Cubierta	NE	<b>-81,64 / 16,82</b>	<b>-0,17 / 11,98</b>
			SO	<b>-63,44 / 18,13</b>	<b>-0,13 / 13,91</b>

**Tab. 68.** EP, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EA. Huecos: ventilación nocturna. Fuente: Elaboración propia.

COMPROBACIÓN PÉRDIDAS DE VENTILACIÓN POR ORIENTACIONES DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA					
ESTADO PROPUESTA (HUECOS)					
CAL / REF				Pérd. Vent. (kWh/m <sup>2</sup> mes)	Reducc. (%) Pérd. Vent. respecto al EA
Solución Isótropa	Ventilación nocturna	Planta Intermedia	NE	<b>-7,23 / - 8,93</b>	<b>0,14 / -2078,05</b>
			SO	<b>-7,76 / -9,59</b>	<b>0,26 / -1909,43</b>
		Planta Cubierta	NE	<b>-7,19 / -9,52</b>	<b>0,00 / -1969,56</b>
			SO	<b>-7,51 / -9,85</b>	<b>0,13 / -1831,37</b>

**Tab. 69.** EP, comprobación de pérdidas por ventilación por orientaciones y comparación respecto al EA. Huecos: ventilación nocturna. Fuente: Elaboración propia.

En términos generales, con esta solución se redujo la demanda de refrigeración en todas las orientaciones, siendo dicha demanda algo superior en las fachadas SO (16,60 kWh/m<sup>2</sup>mes en planta intermedia y 18,13 kWh/m<sup>2</sup>mes en planta de cubierta) frente a las NE (12,90 kWh/m<sup>2</sup>mes en planta intermedia y 16,82 kWh/m<sup>2</sup>mes en planta de cubierta). A pesar de presentar las demandas de refrigeración más elevadas, las orientaciones SO presentan la mayor reducción de demanda de refrigeración (16,92% en planta intermedia y 13,91% en planta de cubierta). Sin embargo, son también las que menor aumento de pérdidas por ventilación han conseguido (1909,43,92% en planta intermedia y 1831,37% en planta de cubierta) en comparación con las orientaciones NE (2078,05% en planta intermedia y 1969,56% en planta de cubierta). En esta solución, al afectar prácticamente solo a la demanda de refrigeración, sigue siendo mayor la demanda de calefacción en las orientaciones NE (65,60 y 81,64 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente) respecto de las fachadas SO (42,98 y 63,44 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente). Con esta propuesta se consigue nivelar las demandas de refrigeración de todas las orientaciones reduciéndolas en un rango próximas entre ellas.

### 7.1.1.3. CUBIERTA

En la cubierta, al no presentar ninguna limitación por valor patrimonial, se optó por una nueva solución, sobre la cubierta existente, que suplementara el aislamiento térmico necesario para alcanzar los valores orientativos de transmitancia térmica de  $0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$  reflejado en el anejo E del CTE (Fig.44).

Por lo tanto, se precisaba de una solución compatible con la cubierta existente para añadir el aislamiento requerido y conformar la nueva cobertura de la cubierta. La solución consistió en una nueva cubierta de panel sándwich in situ, tipo Kalzip, sobre el panel sándwich prefabricado empleado en la reforma de 2004. La unión entre la nueva chapa perfilada con la cubierta existente se realizó mediante los clips Kalzip, los cuales se atornillan a los rastreles de soporte de los paneles sándwich existentes. Este sistema posibilitó la incorporación del espesor necesario de aislamiento térmico, entre la cubierta existente y la nueva cobertura metálica, a través de la altura de los clips Kalzip. El aislamiento empleado fue lana de roca dada su capacidad de adaptación a los perfiles que la conforman.

A continuación, se muestra la relación entre el espesor necesario de aislamiento térmico exigido para valores de transmitancia térmica tanto límites como orientativos establecidos por el CTE (Tab.70). Los espesores precisados se determinan en base a la tipología de cubierta de la envolvente térmica con mayor transmitancia para aplicarlo, en una solución isótropa, en la totalidad de las distintas soluciones constructivas de cubierta debido a las ampliaciones que se realizaron. En este caso de estudio, corresponde al Forjado 3 de la caracterización constructiva del estado actual, el cual representa la gran parte de la cubierta compuesto por un forjado de hormigón armado de 13 cm y un panel sándwich con alma de poliuretano de 4 cm.

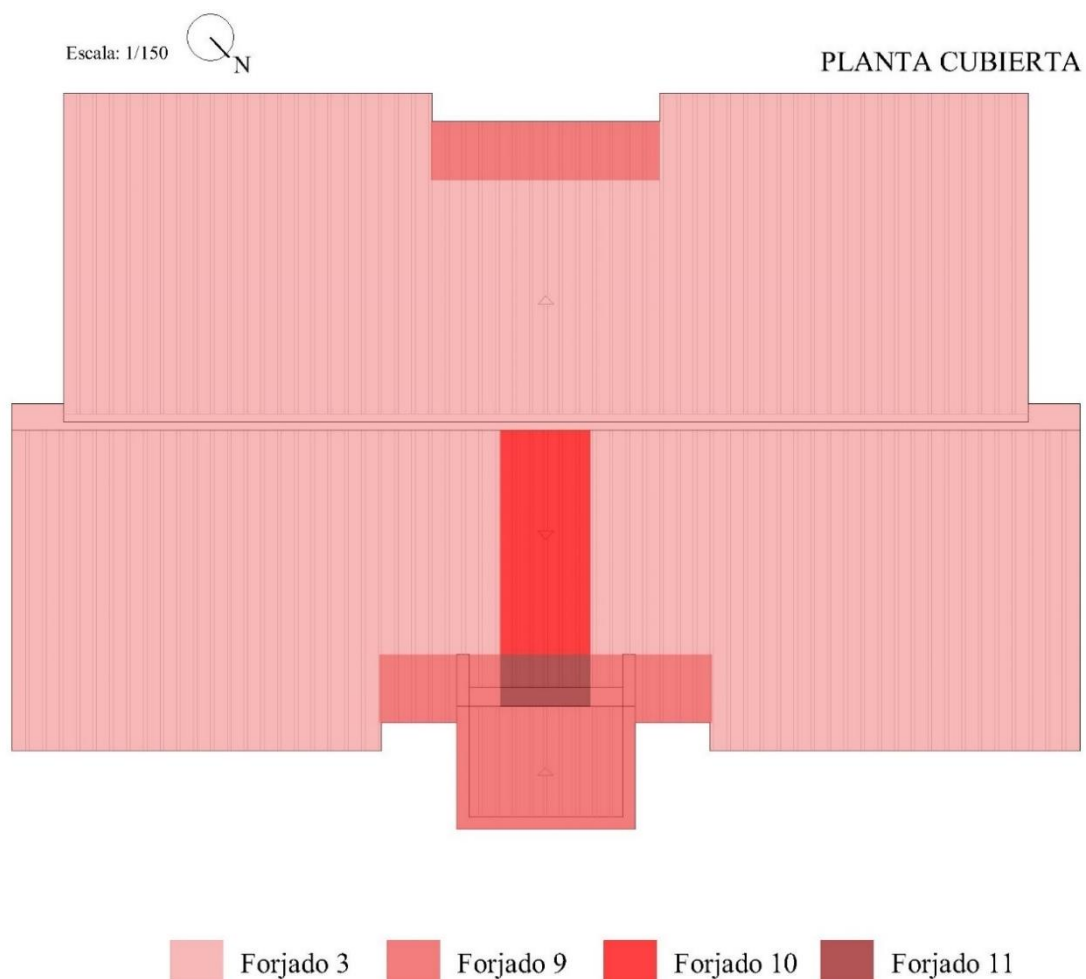
	$U_{lim} = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{orientativa} = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$
Lana de roca		
	$e_{lana} = 2 \text{ cm}$ $U = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$	$e_{lana} = 5 \text{ cm}$ $U = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chapa metálica bandeja Kalzip</li> <li>2. Aislamiento térmico lana de roca</li> <li>3. Cubierta existente (2cm enlucido + 13cm hormigón armado + 4cm panel sandwich)</li> </ol>		

Tab. 70. Relación de espesor y transmitancia térmica de propuesta cubierta Kalzip. Fuente: Elaboración propia.

## 7. DESARROLLO

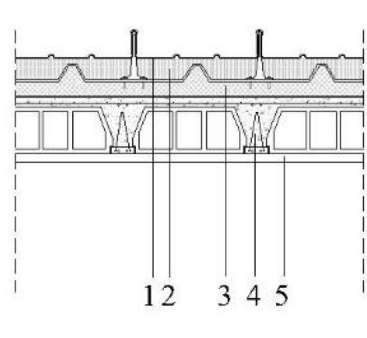
Para alcanzar la transmitancia térmica límite es necesario un espesor de 2 cm de lana de roca, mientras que con 5 cm se alcanza el valor orientativo de transmitancia térmica. En términos energéticos y dado que la caracterización patrimonial lo permite, se ha optado por la solución de 5 cm de lana de roca para aproximarse a nZEB y reducir lo máximo posible la demanda energética.

En la Fig.47 se muestran las soluciones constructivas del edificio que se han visto modificadas en el estado propuesta en cuanto a divisiones horizontales, y en las Tablas 71-74 se especifican sus propiedades. Las soluciones constructivas propuestas afectan únicamente a la envolvente térmica mostrada en la Fig. 37 del estado actual. Aquellas soluciones que no aparecen en este apartado se mantienen exactamente como en el estado actual:

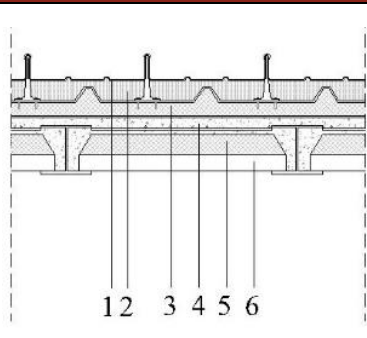


**Fig. 47.** Planimetría EP de tipología de divisiones horizontales. Fuente: Elaboración propia.

7. DESARROLLO

FORJADO 3					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chapa metálica perfilada bandeja Kalzip</li> <li>2. Lana de roca (0,04 W/m·K)</li> <li>3. Panel sándwich de chapa de acero galvanizado con alma aislante de poliuretano</li> <li>4. Forjado de hormigón armado de 350 kg de cemento/m<sup>3</sup> de viguetas armadas y aligerado con piezas Riocerámico RC-12</li> <li>5. Enlucido de yeso d &lt; 1000</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,008	17,00	7900	460	0,0004
2	0,05	0,04	40	1000	1,250
3	0,04	0,03	45	1000	1,333
4	0,13	0,60	1500	800	0,216
5	0,02	0,40	900	1000	0,050
R <sub>si</sub>					0,100
Transmitancia térmica, U = 0,33 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 71. Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Forjado 3. Fuente: Elaboración propia.

FORJADO 9					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chapa metálica perfilada bandeja Kalzip</li> <li>2. Lana de roca (0,04 W/m·K)</li> <li>3. Panel sándwich de chapa de acero galvanizado con alma aislante de poliuretano</li> <li>4. Losa de hormigón armado HA-25 y acero B-500s como capa de compresión</li> <li>5. Plancha de XPS expandido con CO<sub>2</sub> (0,034 W/m·K)</li> <li>6. Rasillón cerámico</li> </ol>			
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,008	17,00	7900	460	0,0004
2	0,05	0,04	40	1000	1,250
3	0,04	0,03	45	1000	1,333
4	0,04	2,30	2400	1000	0,017
5	0,05	0,034	38	1000	1,470
6	0,04	0,445	1000	1000	0,090
R <sub>si</sub>					0,100
Transmitancia térmica, U = 0,23 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 72. Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Forjado 9. Fuente: Elaboración propia.



7. DESARROLLO

<b>FORJADO 10</b>					
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chapa metálica perfilada bandeja Kalzip</li> <li>2. Lana de roca (0,04 W/m·K)</li> <li>3. Panel sándwich de chapa de acero galvanizado con alma aislante de poliuretano</li> <li>4. Forjado de hormigón armado de 350 kg de cemento/m<sup>3</sup> de viguetas armadas y aligerado con piezas Riocerámico RC-12</li> <li>5. Cámara de aire horizontal sin ventilador de 5 cm</li> <li>6. Placa de yeso laminado 750 &lt; d &lt; 900</li> </ol>			
		12	3	4	5
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)
R <sub>se</sub>					0,040
1	0,008	17,00	7900	460	0,0004
2	0,05	0,04	40	1000	1,250
3	0,04	0,03	45	1000	1,333
4	0,13	0,60	1500	800	0,216
5					0,160
6	0,015	0,25	825	1000	0,060
R <sub>si</sub>					0,100
Transmitancia térmica, U = 0,32 W/ m <sup>2</sup> ·K					

Tab. 73. Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Forjado 10. Fuente: Elaboración propia.

<b>FORJADO 11</b>						
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chapa metálica perfilada bandeja Kalzip</li> <li>2. Lana de roca (0,04 W/m·K)</li> <li>3. Panel sándwich de chapa de acero galvanizado con alma aislante de poliuretano</li> <li>4. Losa de hormigón armado HA-25 y acero B-500s como capa de compresión</li> <li>5. Plancha de XPS expandido con CO<sub>2</sub> (0,034 W/m·K)</li> <li>6. Rasillón cerámico</li> <li>7. Cámara de aire horizontal sin ventilador de 5 cm</li> <li>8. Placa de yeso laminado 750 &lt; d &lt; 900</li> </ol>				
		12	3	4	5	6
Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Cp. (J/kg·K)	Resistencia térmica, R (m <sup>2</sup> ·K/W)	
R <sub>se</sub>					0,040	
1	0,008	17,00	7900	460	0,0004	
2	0,05	0,04	40	1000	1,250	
3	0,04	0,03	45	1000	1,333	
4	0,04	2,30	2400	1000	0,017	
5	0,05	0,034	38	1000	1,470	
6	0,04	0,445	1000	1000	0,090	
7					0,160	
8	0,015	0,25	825	1000	0,060	
R <sub>si</sub>					0,100	
Transmitancia térmica, U = 0,22 W/ m <sup>2</sup> ·K						

Tab. 74. Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Forjado 11. Fuente: Elaboración propia.

## 7.1.1.3.1. VALORACIÓN ENERGÉTICA

Tras determinar la solución propuesta, se ha introducido en el modelo informático las adaptaciones correspondientes a las soluciones constructivas del estado actual modificadas por la propuesta. Como se estableció en la metodología, se mantiene el criterio y rigurosidad del análisis diferenciándolo a nivel de bloque, plantas y orientaciones.

El análisis y cumplimiento de las transmitancias térmicas se ha llevado a cabo a la hora de determinar la solución constructiva, proponiendo una solución adecuada a dichas exigencias.

Para la comprobación del cumplimiento del HE-1, se mantienen los valores límites establecidos en el capítulo 6.4.2. de la valoración energética del estado actual. No obstante, en la Tab.75 se muestran dichos valores junto con los resultados obtenidos respecto al cumplimiento del HE-1, así como la comparación correspondiente a la mejora respecto al estado actual:

COMPROBACIÓN HE-1 DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA		
ESTADO PROPUESTA (CUBIERTA)		
Solución Isótropa por el exterior	Lana de roca (5 cm)*	Estado Actual (EA)
$U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,44	1,20
$U_{orientativa}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,33	-
$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,33</b>	<b>0,57</b>
$K_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,85	1,14
$K$ (W/m <sup>2</sup> K)	<b>2,29</b>	<b>2,33</b>
Reducción K (%) respecto al EA	1,72 %	-
$q_{sol;jul,lim}$ (kWh/m <sup>2</sup> mes)	2,00	-
$q_{sol;jul}$ (kWh/m <sup>2</sup> mes)	<b>1,10</b>	<b>1,10</b>
Reducción $q_{sol;jul}$ (%) respecto al EA	0,00 %	-
$n_{50,lim}$ (h <sup>-1</sup> )	-	-
$n_{50}$ (h <sup>-1</sup> )	<b>5,74</b>	<b>5,74</b>
Reducción $n_{50}$ (%) respecto al EA	0,00 %	-
* el espesor indicado corresponde solo al aislamiento; el espesor total de la solución aplicada es la suma de dicho aislamiento + 0,8 cm de chapa metálica		

Tab. 75. EP, comprobación HE-1 y comparación respecto al EA. Cubierta. Fuente: Elaboración propia.

Con la solución propuesta en cubierta se consigue una transmitancia térmica de 0,33 W/m<sup>2</sup>K, igualando la transmitancia orientativa del anejo E del CTE.

**7. DESARROLLO**

En esta propuesta se aprecia una reducción del coeficiente global de transmisión de calor K del 1,72% respecto al estado actual, presentando un coeficiente K de 2,29 W/m<sup>2</sup>K. Una reducción mucho menor que en huecos (11,59%) a pesar de que la cubierta representa el 17,60% de la envolvente térmica.

En la Tab.76 se muestran los resultados obtenidos de la propuesta respecto a la demanda energética anual referida al bloque en su conjunto, tanto de calefacción como de refrigeración y la total, así como las pérdidas por cubierta, además de la reducción de demanda energética conseguida respecto al estado actual:

<b>COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA GENERAL DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA</b>			
<b>ESTADO PROPUESTA (CUBIERTA)</b>			
<b>Solución Isótropa por el exterior</b>		<b>Lana de roca (5 cm)*</b>	<b>Estado Actual (EA)</b>
Demanda energética (kWh/m <sup>2</sup> año)	CALEF.	<b>-27,94</b>	-28,99
	REFRIG.	<b>14,34</b>	14,48
	TOTAL	<b>42,28</b>	43,47
Reducción (%) demanda energética respecto al EA	CALEF.	<b>3,72 %</b>	-
	REFRIG.	<b>0,97 %</b>	-
	TOTAL	<b>2,73 %</b>	-
Pérd. Cubierta (kWh/m <sup>2</sup> año)	CALEF.	<b>-1,88</b>	-3,17
	REFRIG.	<b>0,07</b>	0,20
	TOTAL	<b>1,95</b>	3,37
Reducción (%) Pérd. Cubierta respecto al EA	CALEF.	<b>40,69 %</b>	-
	REFRIG.	<b>65,00 %</b>	-
	TOTAL	<b>42,13 %</b>	-

\* el espesor indicado corresponde solo al aislamiento; el espesor total de la solución aplicada es la suma de dicho aislamiento + 0,8 cm de chapa metálica

**Tab. 76.** EP, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EA. Cubierta. Fuente: Elaboración propia.

La demanda energética anual de calefacción es de 27,94 kWh/m<sup>2</sup>año y 14,34 kWh/m<sup>2</sup>año la de refrigeración. Esto supone una demanda total de 42,28 kWh/m<sup>2</sup>año, significando una reducción del 2,73% de dicha demanda respecto a la del estado actual. A nivel de bloque es una reducción escasa debido a que esta estrategia afecta principalmente a la planta de cubierta. La demanda de calefacción se llegó a reducir entorno a un 3,72% respecto al estado actual, mientras que la de refrigeración apenas llegó al 1%. Sin embargo, se observa que las pérdidas por cubierta se han reducido considerablemente, un

**7. DESARROLLO**

total del 42,13%, siendo mayoritariamente producidas en demanda de calefacción (1,88 kWh/m<sup>2</sup>año). Es en demanda de refrigeración donde se ha conseguido la mayor reducción de pérdidas por cubierta (65,00%).

En la Tab.77 se muestran los resultados obtenidos de la propuesta respecto a la demanda energética de las zonas NE y SO del edificio estudiadas en los modelos anteriores, clasificadas según la planta y la orientación en la que se encuentran, así como la reducción de las demandas respecto al estado actual. Además, para complementar el estudio, en la Tab.78 se expone las pérdidas por cubierta en esta estrategia y el porcentaje de sus reducciones respecto al estado actual.

<b>COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA POR ORIENTACIONES DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA</b>					
<b>ESTADO PROPUESTA (CUBIERTA)</b>					
<b>CAL / REF</b>				<b>Demanda energética (kWh/m<sup>2</sup>mes)</b>	<b>Reducc. (%) demanda energ. respecto al EA</b>
Solución Isótropa por el exterior	Lana de roca (5 cm)*	Planta Intermedia	NE	<b>-65,37 / 15,49</b>	<b>0,06 / 0,00</b>
			SO	<b>-42,91 / 20,00</b>	<b>0,14 / -0,10</b>
		Planta Cubierta	NE	<b>-76,82 / 18,17</b>	<b>5,74 / 4,92</b>
			SO	<b>-58,47 / 20,38</b>	<b>7,72 / 3,23</b>
* el espesor indicado corresponde solo al aislamiento; el espesor total de la solución aplicada es la suma de dicho aislamiento + 0,8 cm de chapa metálica					

**Tab. 77.** EP, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EA. Cubierta. Fuente: Elaboración propia.

<b>COMPROBACIÓN PÉRDIDAS DE CUBIERTA POR ORIENTACIONES DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA</b>					
<b>ESTADO PROPUESTA (CUBIERTA)</b>					
<b>CAL / REF</b>				<b>Pérd. Cubierta (kWh/m<sup>2</sup>mes)</b>	<b>Reducc. (%) Pérd. Cubierta respecto la EA</b>
Solución Isótropa por el exterior	Lana de roca (5 cm)*	Planta Intermedia	NE	<b>0,00 / 0,00</b>	<b>0,00 / 0,00</b>
			SO	<b>0,00 / 0,00</b>	<b>0,00 / 0,00</b>
		Planta Cubierta	NE	<b>-7,69 / 0,42</b>	<b>41,65 / 56,25</b>
			SO	<b>-7,59 / 0,46</b>	<b>41,61 / 54,45</b>
* el espesor indicado corresponde solo al aislamiento; el espesor total de la solución aplicada es la suma de dicho aislamiento + 0,8 cm de chapa metálica					

**Tab. 78.** EP, comprobación de pérdidas por cubierta por orientaciones y comparación respecto al EA. Cubierta. Fuente: Elaboración propia.

## 7. DESARROLLO

En general se ha conseguido una ligera reducción de las demandas de calefacción y refrigeración fundamentalmente en la planta de cubierta, pues esta estrategia pierde impacto en plantas bajas e intermedias alejadas de la cubierta. Se mantiene la superioridad de la demanda de calefacción en las orientaciones NE (65,37 y 76,82 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente) respecto de las fachadas SO (42,91 y 58,47 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente). Lo contrario ocurre con la demanda de refrigeración en las orientaciones SO (20,00 y 20,38 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente), la cual sobrepasa a la de las fachadas NE (15,49 y 18,17 kWh/m<sup>2</sup>mes, en planta intermedia y cubierta, respectivamente). Dado que la planta intermedia apenas recibe la incidencia de esta estrategia, la mayor reducción en cubierta se ha observado en la demanda de calefacción y en orientación SO (7,72%) ya que es menos demandante que la orientación NE en cuanto a calefacción. A pesar de la reducción de las pérdidas por cubierta (41% en calefacción y 54-56% en refrigeración), las demandas de cubierta tanto de calefacción (76,82 y 58,47 kWh/m<sup>2</sup>mes, en orientación NE y SO, respectivamente) como de refrigeración (18,17 y 20,38 kWh/m<sup>2</sup>mes, en orientación NE y SO, respectivamente) permanecen superiores a las de la planta intermedia. Por tanto, la mayor demanda de calefacción se localiza en la planta de cubierta en orientación NE (76,82 kWh/m<sup>2</sup>mes), siendo esta orientación la que menos reducción alcanza en calefacción (5,74%). Por otro lado, la mayor demanda de refrigeración se encuentra también en planta de cubierta en orientación SO (20,38 kWh/m<sup>2</sup>mes), siendo asimismo la orientación que menor reducción de demanda de refrigeración obtiene (3,23%).

## 7.1.1.4. COMBINACIÓN DE ESTRATEGIAS

Tras el estudio individualizado de cada estrategia y el análisis de los resultados de las soluciones propuestas, se llevó a cabo una combinación de ellas para alcanzar el objetivo del presente trabajo: conseguir la máxima reducción de demanda energética y acercar el caso de estudio a EECN, mediante soluciones pasivas compatibles con el valor patrimonial del caso de estudio. Las estrategias y actuaciones pasivas para la envolvente aplicadas en esta solución combinada, estudiadas anteriormente por separado, se recogen en la siguiente Tab.79:

COMBINACIÓN DE ESTRATEGIAS				
Elemento constructivo	Isótropa / Anisótropa	Posición aplicación	Material aplicación	Espesor material
CERRAMIENTOS	Isótropa	Interior	Aerogel + Placa yeso	4 cm + 1 cm
CUBIERTA	Isótropa	Exterior	Lana de roca + Chapa metálica Kalzip	5 cm + 0,8 cm
HUECOS	Isótropa	-	Carpintería PVC + vidrio doble bajo emisivo (0,03-0,1)	2 cámaras + 4/20/4
	Anisótropa (SO y SE)	Exterior	Lamas horizontales orientables	15 cm
	Isótropa	-	Ventilación nocturna	-

Tab. 79. Resumen de las soluciones empleadas en la estrategia combinada. Fuente: Elaboración propia.

La caracterización constructiva de esta estrategia combinada corresponde a las soluciones recogidas en los apartados anteriores del estudio individualizado de cada estrategia. Esta combinación no supone ningún cambio constructivo que difiera de las soluciones mostradas anteriormente. Simplemente es una recopilación de cada estrategia en una misma para obtener los mejores resultados posibles respecto al comportamiento energético del edificio.

Esta combinación consta de: la solución de aerogel en cerramientos, dada su superioridad en términos energéticos frente a la solución con XPS; la solución de cubierta tipo Kalzip con lana de roca; la solución en huecos de carpinterías de PVC con RTP y vidrios bajo-emisivos; la instalación de lamas horizontales orientables en fachada sureste y suroeste; y la implementación de la ventilación nocturna. Además, la combinación de estas soluciones posibilita la reducción de los puentes térmicos del encuentro de las carpinterías con los cerramientos de fachada.

## 7.1.1.4.1. VALORACIÓN ENERGÉTICA

Una vez establecida la combinación de las estrategias, se han introducido en el modelo informático el conjunto de soluciones adoptadas. Como en modelos anteriores y siguiendo la metodología, se mantiene el criterio y rigurosidad del análisis diferenciándolo a nivel de bloque, plantas y orientaciones.

El análisis y cumplimiento de las transmitancias térmicas de las soluciones constructivas del edificio se ha llevado a cabo en la propuesta individualizada de cada una de las estrategias incluidas en esta combinación. Por lo tanto, todos los elementos constructivos cumplen con los valores mínimos de transmitancia térmica exigidos en la Fig.42, incluso alcanzan los valores orientativos del anejo E mostrados en la Fig.44.

Para la comprobación del cumplimiento del HE-1, se mantienen los valores límites establecidos en el capítulo 6.4.2. de la valoración energética del estado actual. No obstante, en la Tab.80 se muestran dichos valores junto con los resultados obtenidos respecto al cumplimiento del HE-1, así como la comparación correspondiente a la mejora respecto al estado actual:

COMPROBACIÓN HE-1 DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA		
ESTADO PROPUESTA COMBINACIÓN (EP)		
	Combinación de estrategias (EP)	Estado Actual (EA)
$K_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	0,85	1,14
K (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,79</b>	<b>2,33</b>
Reducción K (%) respecto al EO	66,10 %	-
$q_{sol;jul,lim}$ (kWh/m <sup>2</sup> mes)	2,00	-
$q_{sol;jul}$ (kWh/m <sup>2</sup> mes)	<b>1,01</b>	<b>1,10</b>
Reducción $q_{sol;jul}$ (%) respecto al EO	8,18 %	-
$n_{50,lim}$ (h <sup>-1</sup> )	-	-
$n_{50}$ (h <sup>-1</sup> )	<b>3,10</b>	<b>5,74</b>
Reducción $n_{50}$ (%) respecto al EO	45,99 %	-

**Tab. 80.** EP, comprobación HE-1 y comparación respecto al EA. Combinación de estrategias. Fuente: Elaboración propia.

La combinación de las estrategias conllevó una reducción del coeficiente global de transmisión de calor K del 66,10% respecto al estado actual. Dicha reducción se tradujo en un valor del coeficiente K de 0,79 W/m<sup>2</sup>K, cumpliendo así con el valor límite exigido en el CTE de 0,85 W/m<sup>2</sup>K. El parámetro del control solar se logró reducir un 8,18% con un valor de 1,01 kWh/m<sup>2</sup>mes, cumpliendo también con el valor límite establecido en el CTE de 2,00 kWh/m<sup>2</sup>mes. El parámetro de permeabilidad al aire se redujo un 45,99%, alcanzando un valor de 3,10 h<sup>-1</sup>. Con la propuesta de esta estrategia combinada se

7. DESARROLLO

consiguió el cumplimiento del HE-1, adaptando el edificio a las exigencias energéticas actuales.

En la Tab.81 se muestran los resultados obtenidos de esta combinación de estrategias respecto a la demanda energética anual referida al bloque en su conjunto, tanto de calefacción como de refrigeración y la total, así como las pérdidas energéticas a través de los elementos que lo constituyen, además de la reducción de demanda energética respecto al estado actual:

COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA GENERAL DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA								
ESTADO PROPUESTA COMBINACIÓN (EP)								
(kWh/ m <sup>2</sup> año)	Demam. energ. EA	Demam. energ. EP	Reducción demanda respecto al EA (%)	Pérd. Cerr.	Pérd. Cub.	Pérd. Huec.	Pérd. Vent.	Ganancia Solar Huec.
CAL.	-28,99	<b>-5,12</b>	<b>82,34 %</b>	<b>-4,99</b>	<b>-2,10</b>	<b>-6,01</b>	<b>-6,77</b>	<b>7,91</b>
REF.	14,48	<b>8,55</b>	<b>40,95 %</b>	<b>0,59</b>	<b>0,39</b>	<b>1,14</b>	<b>-9,10</b>	<b>1,98</b>
TOT.	43,47	<b>13,67</b>	<b>68,55 %</b>	<b>4,40</b>	<b>2,49</b>	<b>7,15</b>	<b>15,87</b>	<b>9,89</b>

**Tab. 81.** EP, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EA. Combinación de estrategias. Fuente: Elaboración propia.

La demanda energética anual de calefacción se redujo un 82,34%, llegando a ser de 5,12 kWh/m<sup>2</sup>año, favorecida por la reducción de pérdidas por cerramientos y huecos. La demanda de refrigeración lo hizo en un 40,95%, siendo de 8,55 kWh/m<sup>2</sup>año, propiciada por la reducción en gran medida de las ganancias solares y el aumento de las pérdidas por ventilación. Estas demandas supusieron una demanda total de 13,67 kWh/m<sup>2</sup>año, con una reducción total de 68,55% respecto al estado actual. Una reducción notabilísima considerando que ha sido obtenida únicamente con medidas pasivas en la envolvente y con las limitaciones intrínsecas del caso de estudio. Con esta combinación de estrategias se observa el sobrepaso de la demanda de refrigeración a la de calefacción, la cual ha sido siempre superior desde el estado original.

Se observa que las pérdidas por cerramientos, las cuales eran predominantes, se han rebajado considerablemente hasta 4,40 kWh/m<sup>2</sup>año. Se han reducido en tal medida que las pérdidas por huecos (7,15 kWh/m<sup>2</sup>año) se han convertido en las predominantes de esta propuesta, obviando las pérdidas por ventilación (15,87 kWh/m<sup>2</sup>año) las cuales se aumentaron intencionadamente para reducir la demanda de refrigeración mediante la ventilación nocturna. Las ganancias solares a través de los huecos también han sido reducidas en condiciones de verano hasta 1,98 kWh/m<sup>2</sup>año debido a la instalación de lamas orientables en las fachadas sureste y suroeste, disminuyendo así la demanda de refrigeración. A pesar de la reducción de algunos puentes térmicos en carpinterías y cerramientos, no se han solucionado otros, como los frentes de forjados o el encuentro de cerramiento-cubierta o cerramiento-solera, debido a la limitación patrimonial y la imposibilidad de intervenir por el exterior.



7. DESARROLLO

En la Tab.82 se reflejan los resultados obtenidos respecto a la demanda energética de las mismas dos zonas del edificio estudiadas, NE y SO, clasificadas según la planta y la orientación en la que se encuentran, así como las principales pérdidas que se producen, además del porcentaje de mejora respecto al estado original.

<b>COMPROBACIÓN DEMANDA ENERGÉTICA POR ORIENTACIONES DEL EP Y COMPARACIÓN RESPECTO AL EA</b>				
<b>ESTADO PROPUESTA COMBINACIÓN (EP)</b>				
<b>CAL / REF</b> (kWh/m <sup>2</sup> mes)	<b>Planta Intermedia</b>		<b>Planta Cubierta</b>	
	<b>NE</b>	<b>SO</b>	<b>NE</b>	<b>SO</b>
Demanda energética (EA)	-65,41 / 15,49	-42,97 / 19,98	-81,5 / 19,11	-63,36 / 21,06
Demanda energética (EP)	<b>-13,43 / 12,91</b>	<b>-3,14 / 9,41</b>	<b>-23,57 / 15,19</b>	<b>-9,98 / 11,05</b>
Reducción (%) deman. ener. respecto al EA	<b>79,47 / 16,65</b>	<b>92,69 / 52,90</b>	<b>71,08 / 20,51</b>	<b>84,25 / 47,53</b>
Pérd. Cerram.	<b>-11,11 / 0,28</b>	<b>-11,28 / 0,98</b>	<b>-9,88 / 0,65</b>	<b>-10,42 / 1,08</b>
Pérd. Cubierta	<b>0,00 / 0,00</b>	<b>0,00 / 0,00</b>	<b>-9,11 / 1,43</b>	<b>-9,87 / 1,55</b>
Pérd. Huecos	<b>-11,07 / 0,72</b>	<b>-8,30 / 1,44</b>	<b>-10,13 / 1,47</b>	<b>-8,98 / 1,67</b>
Pérd. Ventilac.	<b>-8,07 / -9,59</b>	<b>-7,10 / -8,89</b>	<b>-7,46 / -9,81</b>	<b>-8,25 / -9,13</b>
Ganancia Solar Huecos	<b>9,78 / 6,90</b>	<b>19,26 / 1,05</b>	<b>8,11 / 6,15</b>	<b>19,12 / 0,75</b>

**Tab. 82.** EP, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EA. Combinación de estrategias. Fuente: Elaboración propia.

En términos generales se ha conseguido una enorme reducción en las demandas de calefacción en todas las orientaciones, presentando una mayor reducción en la orientación SO (92,69% en planta intermedia y 84,25% en cubierta) frente a la NE (79,47% en planta intermedia y 71,08% en cubierta). La demanda de refrigeración, en menor medida que la de calefacción, también se aminoró considerablemente en orientación SO (52,90% en planta intermedia y 47,53% en cubierta), reflejando una distanciada diferencia en la reducción frente a la orientación NE (16,65% en planta intermedia y 20,51% en cubierta). Es decir, la fachada SO es la que mayor reducción obtuvo tanto en demanda de calefacción, por ser menos demandante, como de refrigeración, debido a la solución anisótropa de protecciones solares. Este hecho supuso que la orientación NE se convirtiese en la que mayores demandas presentase tanto de calefacción como de refrigeración.

Puesto que la mayor reducción en demanda de calefacción ha sido en orientación SO, con unos valores de 3,14 kWh/m<sup>2</sup>mes en planta intermedia y 9,98 kWh/m<sup>2</sup>mes en cubierta, es la orientación opuesta la que, lógicamente, presenta mayores demandas con 13,43 kWh/m<sup>2</sup>mes en planta intermedia y 23,57 kWh/m<sup>2</sup>mes en cubierta. Sin embargo, debido a la notoria reducción en demanda de refrigeración al SO, supuso la superioridad de dicha

## 7. DESARROLLO

demanda en orientación NE (12,91 kWh/m<sup>2</sup>mes en planta intermedia y 15,19 kWh/m<sup>2</sup>mes en cubierta) frente a la SO (9,41 kWh/m<sup>2</sup>mes en planta intermedia y 11,05 kWh/m<sup>2</sup>mes en cubierta), inicialmente más demandante.

Se aprecia también la superioridad de las demandas, tanto de calefacción como refrigeración, de la planta de cubierta frente a la intermedia. Esto es debido fundamentalmente a la presencia de las pérdidas por cubierta, mitigando así la reducción de las demandas frente a la planta intermedia. Dichas pérdidas se han reducido ligeramente puesto que mantiene los puentes térmicos de cubierta. Sin embargo, las pérdidas por cerramientos se han llegado a reducir sustancialmente, sin superar valores de más de 12 kWh/m<sup>2</sup>mes. Asimismo, se puede observar una ligera reducción de las pérdidas por huecos, junto con el aumento de las pérdidas por ventilación en la demanda de refrigeración para propiciar la reducción de dicha demanda. Por último, se percibe la reducción de las ganancias solares en orientación SO, sobre todo en demanda de refrigeración, gracias a las protecciones solares en dichas fachadas.

# 8

## CONCLUSIONES

## 8. CONCLUSIONES

Una gran parte del parque residencial mediterráneo se encuentra obsoleto o es ineficiente en términos energéticos. Concretamente, el parque residencial andaluz ha de ser rehabilitado energéticamente en su totalidad. Sin embargo, son numerosos los casos que presentan un indudable interés arquitectónico que debe ser conservado, a la par que han de cumplir con los estándares europeos actuales de eficiencia energética. Por lo tanto, estas rehabilitaciones requieren la búsqueda de unas intervenciones que equilibren dichas condiciones, convirtiendo la rehabilitación energética de este tipo de casos en una problemática compleja. El presente TFG ha tratado de hacer un acercamiento a dicha problemática abordándola a través de un caso de estudio concreto de vivienda social y de interés arquitectónico en Andalucía y zona climática B4.

Tras realizar un estudio del modelo actual o de partida para el desarrollo de las actuaciones, y la evolución del edificio en el supuesto de haber sufrido alguna reforma sustancial, como en el caso concreto de este trabajo, se extraen conclusiones para la propuesta de estrategias pasivas basadas en la envolvente térmica. Estas propuestas han de supeditarse a la compatibilidad con la caracterización patrimonial, además de otras variantes como las condiciones de habitabilidad, tal y como ocurre en el presente caso de estudio, y que pretendan alcanzar las exigencias actuales de los edificios de consumo energético casi nulo (nZEB). Por lo tanto, deben descartarse aquellas soluciones que alteren el valor arquitectónico del caso de estudio, a pesar de que sean válidas a nivel energético.

Tras el análisis de los diferentes modelos energéticos propuestos en el presente trabajo y comprobar la compatibilidad y efectividad de las estrategias pasivas implementadas para mejorar el comportamiento energético, especialmente de edificios de vivienda social de más de 50 años de antigüedad con cierto interés arquitectónico, se extraen las siguientes conclusiones:

**C1:** Las rehabilitaciones de edificios que no se planteen el cumplimiento de las exigencias vigentes sobre demanda y consumo energético no logran, en general, una mejora considerable en la eficiencia energética del mismo, a pesar de que se lleven a cabo ciertas intervenciones que mejoren el comportamiento energético. Como se muestra en este trabajo, la rehabilitación que se realizó en 2004 en el caso de estudio fue enfocada sobre todo a nivel urbano y de habitabilidad, y aunque se ejecutaron algunas soluciones de mejora energética, no se logró alcanzar ni siquiera los valores exigidos por la NBE-CT-79, alejados de los que inmediatamente fueron exigidos por el CTE-DB-HE de 2006 y muy distantes de las actuales exigencias para los nZEB. Por ello, muchas rehabilitaciones o reformas, después de una importante inversión, quedan obsoletas muy pronto por no estar en concordancia, en términos energéticos, con la época en la que se efectúan.

**C2:** El edificio caso de estudio, con una demanda total de 43,47 kWh/m<sup>2</sup>año se encuentra lejos de cumplir con la normativa nacional vigente (DB-HE, 2019) sobre limitación de la demanda energética. La razón fundamental es que su coeficiente de transmisión de calor global, K, es de 2,33 W/m<sup>2</sup>K, valor muy superior al máximo exigido de 0,85 W/m<sup>2</sup>K, dada su compactidad y zona climática donde se localiza. Como las pérdidas de calor son directamente proporcionales a ese valor de K, eso significa que las pérdidas de calor en invierno son, aproximadamente, 2,75 veces superiores a la máxima permitida, lo que nos da una medida de su grado de obsolescencia actual, a pesar de haber sido reformado hace menos de 20 años.

## 8. CONCLUSIONES

**C3:** Conseguir reducir significativamente la demanda energética de un edificio de este tipo solo con soluciones de tipo pasivo, que afecten a su envolvente, exige un conjunto de actuaciones que, individualmente, no logran reducciones de demanda espectaculares, pero que en conjunto pueden permitir acercarnos a nZEB. Además, de las fachadas, que conforman la mayoría de la superficie de la envolvente, hay que actuar en huecos, incluida la mejora de la estanqueidad al aire y sus protecciones solares, en cubierta, menos afectada en cuanto a conservación del valor patrimonial, y hacer uso de la ventilación nocturna, sobre todo para reducir la demanda de refrigeración.

**C4:** Elaborar un protocolo o catálogo de intervención general para este tipo de rehabilitación energética puede resultar arriesgado, ya que cada caso de estudio debe ser analizado individualmente con el fin de poner de manifiesto y preservar el valor patrimonial o interés arquitectónico propio del proyecto original en cuestión.

**C5:** La rehabilitación energética de edificios con interés arquitectónico frecuentemente afecta a las soluciones de fachada. En esos casos la técnica de aislamiento por el interior puede ser la única opción posible, con las limitaciones que eso supone, no solo desde un punto de vista energético, sino también de habitabilidad. Si se trata de viviendas sociales la superficie de éstas son mínimas, por lo que la solución debe ejecutarse con poco espesor, pero con una gran capacidad aislante para cumplir las exigencias europeas de eficiencia energética actuales. La utilización novedosa en este tipo de rehabilitaciones como aislante térmico de un material de cambio de fase (PCM) como el aerogel, puede ser una importante vía para lograr la ansiada compatibilidad, más allá de la repercusión económica. La solución alternativa de utilizar como aislante 5 cm de poliestireno extruido, más económica, produce una disminución en la reducción del valor del K respecto al estado actual del 5% y de la demanda total del 5,78% respecto a la solución con aerogel, aumentando el valor del K a 0,91 W/m<sup>2</sup>K, alejado del cumplimiento del HE-1 al superar el valor límite exigido de 0,85 W/m<sup>2</sup>K.

**C6:** Con esta solución de rehabilitación de fachada se logra una reducción significativa de la demanda de calefacción, pero de por sí sola va a suponer un moderado aumento de la demanda de refrigeración, ya que dificulta la disipación nocturna de calor. Por ello, resulta esencial combinarla con la ventilación nocturna. Su concurso supone una reducción de la demanda total del 7,82%.

**C7:** El conjunto de propuestas pasivas basadas en la envolvente del edificio, así como en propiciar la ventilación nocturna, da lugar a una demanda anual total estimada del bloque de viviendas estudiado de 13,67 kWh/m<sup>2</sup>, que cumple con los límites establecidos para los nZEB y supone una reducción casi del 69% respecto del estado actual. Se ha logrado que el coeficiente de transmisión de calor global, K, alcance un valor de 0,79 W/m<sup>2</sup>K, inferior al valor límite de 0,85 W/m<sup>2</sup>K para los nZEB, y del orden de un tercio del valor de K en el estado actual de 2,33 W/m<sup>2</sup>K. Se ha logrado también cumplir las exigencias de control solar y permeabilidad al aire.

**C8:** Este conjunto de propuestas pasivas no proporciona el mismo rendimiento energético en condiciones climáticas de invierno y verano. Concretamente, en invierno se obtuvo una reducción de 82% en demanda de calefacción, con un valor de 5,12 kWh/m<sup>2</sup>año, mientras que en verano la demanda de refrigeración se redujo casi un 41%, con 8,55 kWh/m<sup>2</sup>año.

## 8. CONCLUSIONES

**C9:** La valoración de las incidencias que en la demanda tienen las distintas propuestas individualizadas de las soluciones constructivas aplicadas en la envolvente nos indica que la más efectiva es la solución de fachada (55,85 % de la superficie de la envolvente) que logra una reducción de la demanda total del 42,42%, seguida de los huecos (8,90 % de la superficie de la envolvente) y que consiguen un 7,77% de reducción de la demanda y de la cubierta (17,60% de la superficie de la envolvente), que logra un 2,73% de reducción de la demanda.

**C10:** Para los sistemas de protección solar del edificio, se ha demostrado que una solución anisótropa, que afecte únicamente a los huecos de las fachadas sureste y suroeste, produce una reducción de la demanda total anual. Con esta solución se obtiene la máxima reducción en demanda de calefacción al norte (79 y 71% en planta intermedia y cubierta, respectivamente) y una reducción óptima en demanda de refrigeración al sur (52 y 47% en planta intermedia y cubierta, respectivamente), equilibrando las demandas de calefacción y refrigeración en ambas orientaciones, y manteniendo unas condiciones de confort estables durante todo el año.

Con el desarrollo de este trabajo se han dado respuestas a las dos preguntas de investigación y se han alcanzado los objetivos, tanto generales como específicos, formulados. En definitiva, en este caso de estudio, que consideramos representativo de los bloques de viviendas sociales presentes en el sur del Mediterráneo y que tienen reconocido su valor patrimonial contemporáneo, se ha logrado mediante la aplicación de estrategias pasivas basadas en la envolvente que no alteren el valor patrimonial, una rehabilitación energética que cumpla las exigencias actuales para la consideración de edificios de consumo de energía casi nulo.

Las estrategias propuestas y los resultados obtenidos en este trabajo pueden ser extrapolados y servir de referencia para otros casos de estudio de rehabilitación energética que presenten características similares, estén ubicados en zona climática mediterránea B4 y, especialmente, si cuentan con la inviabilidad de intervenir en el exterior de la fachada.

# 9

## FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Este TFG podría entenderse como parte de un estudio más amplio sobre rehabilitación energética de viviendas sociales con valor patrimonial en el arco mediterráneo, con el fin de alcanzar niveles cercanos a edificio de consumo energético casi nulo.

El estudio realizado en este trabajo se centra exclusivamente en la reducción de demanda energética mediante medidas pasivas aplicadas en la envolvente del edificio, por lo que sería interesante continuar esta línea temática incidiendo en los siguientes aspectos:

- Estudio de estrategias activas compatibles con el valor patrimonial del caso de estudio, incidiendo en la reducción del consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> de las instalaciones mediante la incorporación de energías renovables.
- Estudio de la combinación de estrategias pasivas y activas y su repercusión en la reducción de demanda y consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Valoración del coste económico de las estrategias propuestas y su viabilidad para los usuarios de dichas viviendas.
- Extrapolar las estrategias propuestas en este trabajo a otras zonas climáticas del arco mediterráneo y analizar los resultados obtenidos, ya que el caso de estudio de este trabajo se ubica en Córdoba, en zona climática B4.
- Estudiar la propuesta de estrategias y su valoración energética en otros casos de estudio que presenten otras condiciones tipológicas o valores patrimoniales dentro del arco mediterráneo.



# 10

## BIBLIOGRAFÍA

## 10.1. BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA

- (1). *Directiva 2018/844/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética. Diario Oficial de la Unión Europea L 156, 19 de junio de 2018, pp. 75-91*
- (2). *Real Decreto 2429/1979, de 8 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios. Boletín Oficial del Estado, 22 de octubre de 1979, núm. 253, pp. 24524-24550.*
- (3). *Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. BOE 311, de 27 de diciembre de 2019, pp. 140488-140674.*
- (4). *Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE 74, de 28 de marzo de 2006, pp. 11816-11831.*
- (5). *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. BOE 239, de 6 de octubre de 2021, pp. 122046-122060.*
- (6). *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. BOE 239, de 6 de octubre de 2021, pp. 122127-122197.*
- (7). *Real Decreto 106/2018, de 9 de marzo, por el que se regula el Plan Estatal de Vivienda 2018-2021. BOE 61, de 10 de marzo de 2018, pp. 28868-28916.*
- (8). *MITECO. (2020). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. ERESEE 2020 (Actualización 2020) de la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España.*
- (9). *Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. Diario Oficial de la Unión Europea L 315, 14 de noviembre de 2012, pp. 1-56.*
- (10). *Figueres, M. T. P. (2018). DOCOMOMO. Arquitectura moderna y patrimonio. Loggia, vol. 31.*
- (11). *Archivo del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Registro Andaluz de Arquitectura Contemporánea. Provincia de Córdoba. Grupo de Viviendas para la Fundación Benéfico-Social, 2007.*
- (12). *Actas del X Congreso DOCOMOMO Ibérico, Badajoz, 18-20 de abril de 2018.*

- (13). AA.VV. (2003). *Programa de Actuación para la declaración del Área de Rehabilitación Concertada «San Martín de Porres»*, Archivo de la Dirección General de Rehabilitación y Arquitectura, Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía.
- (14) BENÍTEZ, Jorge. *Rehabilitación integral de la barriada San Martín de Porres en Córdoba*. En: *Premios AVS 2013 [en línea]*. Premios de Arquitectura, diciembre 2013. Disponible en: <https://www.premiosdearquitectura.es/es/premios/32-premios-avs-2013/obras-presentadas/610-rehabilitacion-integral-de-la-barriada-de-san-martin-de-porres-en-cordoba>.
- (15) *Carta Internacional para la Conservación de Ciudades Históricas y Áreas Urbanas Históricas*. (Carta De Washington 1987) Adoptada por la Asamblea General del ICOMOS en octubre de 1987.
- (16) *Declaración de Nairobi (1976) recomendación relativa a la salvaguardia de los conjuntos históricos y su función en la vida contemporánea*. Conferencia General de la UNESCO en noviembre de 1976.
- (17) *The Valletta Principles for the Safeguarding and Management of Historic Cities, Towns and Urban Areas*. Adoptado por la Asamblea General del ICOMOS en noviembre de 2011.
- (18) *Recomendación sobre el Paisaje Urbano Histórico, con inclusión de un glosario de definiciones*. Conferencia General de la UNESCO en noviembre de 2011.
- (19) *Informe sobre la aplicación por los Estado Miembros de la Recomendación de 2011 sobre el Paisaje Urbano Histórico, con inclusión de un glosario de definiciones*. Conferencia General de la UNESCO en noviembre de 2015.
- (20) Gómez Villa, J. L. (2019). *Proyecto \_re-HABITAR. Patrimonio contemporáneo y tecnología. Proyecto de actualización tecnológica del patrimonio contemporáneo: vivienda social del Movimiento Moderno. Proyecto financiado por la Consejería de Economía, Conocimiento, Empresa y Universidad. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*. (<http://www.iaph.es/rehabitar/el-proyecto/>).
- (21) Ascione, F., De Masi, R. F., De Rossi, F., Ruggiero, S. y Vanoli, G. P. (2017). *NZEB target for existing buildings: Case study of historical educational building in Mediterranean climate*. In *Energy Procedia*, vol. 140, pp. 194–206. Elsevier Ltd.
- (22) Blázquez, T., Ferrari, S., Suárez, R. y Sendra, J.J. (2019). *Adaptive approach-based assessment of a heritage residential complex in southern Spain for improving comfort and energy efficiency through passive strategies: A study based on a monitored flat*. *Energy*, vol. 181 (15), pp. 504-520.
- (23) Webb, A.L. (2017). *Energy retrofits in historic and traditional buildings: A review of problems and methods*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. vol. 77, pp. 748-759.
- (24) *Carta de las Ciudades Europeas hacia la Sostenibilidad (La Carta de Aalborg)*. Aprobada en la Conferencia europea sobre las ciudades sostenibles en mayo de 1994.

- (25) *Carta de Leipzig sobre Ciudades Europeas Sostenibles (La Carta de Leipzig)*. Aprobada en el Encuentro Informal de Ministros sobre Desarrollo Urbano y Cohesión Territorial en mayo de 2007.
- (26) J. Fernández-Agüera, A. S. y Sendra, J. J. (2014). "Infiltration rate performance of buildings in the historic centre of Oporto," *Inf. la construcción*, vol. 66, (535).
- (27) Blázquez, T. Suárez, R. Ferrari, S. Sendra, J.J. (2021). *Addressing the potential for improvement of urban building stock: A protocol applied to a Mediterranean Spanish case*, *Sustainable Cities and Society*.
- (28) Sendra Salas, Juan José, Domínguez Amarillo, Samuel, León Rodríguez, Angel Luis, Navarro Casas, Jaime, Muñoz Muñoz, Manuel Salvador. (2011). *Proyecto Eficacia. Optimización energética en la vivienda colectiva*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- (29) León, Ángel L., Domínguez, Samuel, Campano, Miguel A., y Ramírez-Balas, Cristina. (2012). *Reducing the Energy Demand of Multi-Dwelling Units in a Mediterranean Climate Using Solar Protection Elements*. *Energies*, vol. 5 (9), pp. 3398–3424.
- (30) Domínguez, Samuel, Sendra, Juan J., León, Angel L, y Esquivias, Paula M. (2012). *Towards Energy Demand Reduction in Social Housing Buildings: Envelope System Optimization Strategies*. *Energies*, vol. 5 (7), pp. 2263–87.
- (31) Suárez, R., Fragoso, J. (2016). *Estrategias pasivas de optimización energética de la vivienda social en clima mediterráneo*. *Informes de la Construcción*, vol 68 (541).
- (32) Blázquez de Pineda, M.T. (2019). *Caracterización energética y condiciones de habitabilidad de las viviendas sociales del arquitecto Rafael De La Hoz en la ciudad de Córdoba*. *Escenarios de mejora*. (Tesis Doctoral Inédita). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- (33) Muñoz Rodríguez, J. (2016). *Propuestas de mejora de la calificación energética de la vivienda social colectiva mediterránea construida entre 1950 y 1980 y su evolución, caso particular viviendas sociales del Polígono San Pablo, Sevilla*. (Trabajo fin de grado inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla
- (34) Lizana-Moral, J., de-Borja-Torrejón, M., Barrios-Padura, Á., Auer, T. y Chacartegui, R. (2019). *Passive cooling through phase change materials in buildings. A critical study of implementation alternatives*. *Applied Energy*, vol. 259 (113658).
- (35) *Conferencia sobre la Biosfera de la UNESCO. Cumbre ambiental de París en 1968*.
- (36) *Informe de Brundtland, Gro Harlem Brundtland*. Presentado en 1987 en la Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU.
- (37) COP 7; *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*; Naciones Unidas, Kyoto, 1997.
- (38) COP 21; *Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*; Naciones Unidas, París, 2015.
- (39) *European Council. EU position for the UN climate change conference in Paris: Council conclusions*. Bruselas, 2016.

- (40) Eurostat. *Manual for statistics on energy consumption in households. Final Energy Consumption by sectors in the EU27.*
- (41) Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993 relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficiencia energética (SAVE). *Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 237, 22 de septiembre de 1993, pp. 28-30.*
- (42) Directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo. *Diario Oficial de la Unión Europea L 114, 27 de abril de 2006, pp. 64-85.*
- (43) Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 1, 4 de enero de 2003, pp. 65-71.*
- (44) Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). *Diario Oficial de la Unión Europea L 153, 18 de junio de 2010, pp. 13-35.*
- (45) MITECO. (2017). *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Plan Nacional De Ahorro y Eficiencia Energética en España 2017-2020 (PNAEE).*
- (46) MITECO. (2020). *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC).*
- (47) Resolución de 25 de septiembre de 2013, de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se publica la de 25 de junio de 2013, del Consejo de Administración del IDAE, por la que se establecen las bases reguladoras y convocatoria del programa de ayudas para la rehabilitación energética de edificios existentes del sector residencial (uso vivienda y hotelero). *BOE 235, de 1 de octubre de 2013, pp. 79433-79470.*
- (48) MITECO. (2019). *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Estrategia Nacional Contra la Pobreza Energética 2019-2024.*
- (49) Real Decreto-ley 36/2020, de 30 de diciembre, por el que se aprueban medidas urgentes para la modernización de la Administración Pública y para la ejecución del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. *BOE 341, de 31 de diciembre de 2020, pp. 126733-126793.*
- (50) *Plan de Recuperación para Europa: NextGenerationEU. Aprobado por el Consejo Europeo el 21 de junio de 2020.*
- (51) Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). *BOE 266, 6 de noviembre de 1999, pp. 38925-38934.*
- (52) Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. *BOE 207, 29 de agosto de 2007, pp. 35931-35984.*

- (53) *Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. BOE 89, 13 de abril de 2013, pp. 1-16.*
- (54) *Real Decreto 390/2021, de 1 de junio, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. BOE 131, 2 de junio de 2021, pp. 67351-67373.*
- (55) *Real Decreto 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana. BOE 261, 31 de octubre de 2015, pp. 103232-103290.*
- (56) *Real Decreto 450/2022, de 14 de junio, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. BOE 142, 15 de junio de 2022, pp. 81973-81989.*
- (57) *Decreto 2/2013, de 15 de enero, por el que se modifica el Decreto 169/2011, de 31 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de Fomento de las Energías Renovables, el Ahorro y la Eficiencia Energética en Andalucía. BOJA 12, 17 de enero de 2013, pp. 8-14.*
- (58) *Decreto-ley 1/2014, de 18 de marzo, por el que regula el programa de Impulso a la Construcción Sostenible en Andalucía y se efectúa la convocatoria de incentivos para 2014 y 2015. BOJA 58, 26 de marzo de 2014, pp. 9-52.*
- (59) *Resolución de 11 de enero de 2022, de la Agencia Andaluza de la Energía, por la que se aprueban los formularios acogidos a la convocatoria de 26 de octubre de 2021 de los incentivos para actuaciones de rehabilitación energética en edificios existentes en municipios del reto demográfico (Programa PREE 5000), acogidos al Real Decreto 691/2021, de 3 de agosto, y se modifica la citada convocatoria. BOJA 9, 14 de enero de 2022, pp. 223/1-223/22.*
- (60) *Barrionuevo Ferrer, A., Barrios Sevilla, J., Barrios Padura, A., Vigil-Escalera Pacheco, M., Rebollo Puig, G., (2008-2011). Estudio: Análisis y propuestas para la rehabilitación arquitectónica, constructiva y urbana del Sector Sur de la ciudad de Córdoba. VIMCORSÁ-Fundación para la Investigación para la Universidad de Sevilla (FIUS). Vol 1 (5), pp. 324-325.*
- (61) *García Vázquez, Carlos, y Ramón Pico Valimaña, (1999). MoMo Andalucía, arquitectura del Movimiento Moderno en Andalucía, 1925-1965. Sevilla: Junta de Andalucía-Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico.*

## 10.2. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

AA.VV. *Rafael de La-Hoz: Medalla de oro de la arquitectura 2000*. Madrid: Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España, 2003. (consulta: 24 enero 2022)

Del Cid Mendoza, Ana y José Luis del Cid Mendoza. *Los pioneros modernos y el proyecto social. El Grupo Sector Sur de Rafael de La-Hoz Arderius*. En *Libro de Actas del V Congreso Pioneros de la Arquitectura Moderna Española: El proyecto del habitar, 164-177*. Madrid: Fundación Alejandro de la Sota - Ministerio de Fomento, 2018. (consulta: 28 enero 2022)

Daroca Bruño, F. (2017). *Córdoba 1950. Rafael de la Hoz como motor de la modernidad*. (Tesis Doctoral Inédita). Universidad de Sevilla, Sevilla. (consulta: 3 febrero 2022)

De La-Hoz, Rafael. *La vivienda social*. *Arquitectura*. 1962. vol. 39, pp. 2-15. (consulta: 9 febrero 2022)

Sáez Jaén, Natalia (2021). *Rafael de La-Hoz Arderius en Córdoba. Entre lo vernáculo y lo moderno*. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S. Arquitectura (UPM). (consulta: 9 febrero 2022)

Rebolledo Iglesias, A. (2020). *La rehabilitación de la vivienda colectiva en condiciones de obsolescencia mediante la introducción de sistemas eficientes*. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla. (consulta: 10 febrero 2022)

Archivo del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. *Registro Andaluz de Arquitectura Contemporánea*. Provincia de Córdoba. Grupo de Viviendas para la Fundación Benéfico-Social, 2007. (consulta: 12 febrero 2022)

Pozo Carmona, L.d. (2018). *Proyecto de mejora de la eficiencia energética del Ala B de Hospital Universitario Virgen Macarena, Sevilla*. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla. (consulta: 15 febrero 2022)

Porrás Pavón, M.D. (2016). "La rehabilitación energética de la vivienda tradicional mediterránea y los objetivos del H2020" (Trabajo fin de grado inédito). Universidad de Sevilla. Sevilla. (consulta: 19 febrero 2022)

Morón Serna, Elena, y José I. Rodríguez Galadí. *Rehabilitación integral de barriadas con dificultades sociales en Andalucía. La experiencia de San Martín de Porres en Córdoba*. *Informes de la Construcción*. 2015, Vol. 67 (extra-1). (consulta: 2 marzo 2022)

Valle Cañada, C. (2020). *Reforma de la envolvente de un edificio público construido con el CTE para ser Edificio de Consumo de Energía Casi Nulo*. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla. (consulta: 2 marzo 2022)

Escandón R, Suárez R, Sendra JJ, Ascione F, Bianco N, Mauro GM. (2019.) *Predicting the impact of climate change on thermal comfort in a building category: The Case of Linear-type Social Housing Stock in Southern Spain*. *Energies*, vol. 12 (2), pp. 2238. (consulta: 13 marzo 2022)

AMCO: Archivo Municipal de Córdoba. (consulta: 29 marzo 2022)

## 10. BIBLIOGRAFÍA

*Segura Rivera, J.M. (2019). Aplicación de técnicas pasivas para mejorar las capacidades térmicas de un bloque tipo H. Mejoras según criterios Passivhaus-Enerphit en contraposición con la normativa existente del CTE DB HE 0 y CTE DB HE 1. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla. (consulta: 4 abril 2022)*

*Ramos Arroyo, P. (2019). Rehabilitación energética de edificios docentes para su adaptación a NZEB. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla. (consulta: 7 abril 2022)*

*Rodríguez Moya, C. (2020). El uso de la energía y la evaluación de las condiciones ambientales interiores en la vivienda unifamiliar en hilera en clima mediterráneo. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla. (consulta: 11 abril 2022)*

*Oliver Ramírez, Alicia (2009). Integración de materiales de cambio de fase en placas de yeso reforzadas con fibras de polipropileno aplicación a sistemas de refrigeración y calefacción pasivos para almacenamiento de calor latente en edificios. Tesis (Doctoral), E.T.S. Arquitectura (UPM). (consulta: 24 abril 2022)*

*Catálogo general AMA Nanotech, Aerogips. [www.aerogelsoluciones.com](http://www.aerogelsoluciones.com). (consulta: 5 mayo 2022)*



# III

## LISTADO DE FIGURAS

## 11.1. ÍNDICE DE FIGURAS

**Fig. 01:** Porcentaje de viviendas en Andalucía según su tipología edificatoria. Fuente: IEA, 2001; Elaboración propia.

**Fig. 02:** Porcentaje de edificios de uso residencial en Andalucía según su tipología. Fuente: IEA, 2001; Elaboración propia.

**Fig. 03.** Porcentaje de edificios de uso residencial en Andalucía según año de construcción. Fuente: INE, 2011; Elaboración propia.

**Fig. 04.** Porcentaje de edificios plurifamiliares en Andalucía según año de construcción. Fuente: INE, 2011; Elaboración propia.

**Fig. 05.** Esquema Motivación, Relevancia y Oportunidad. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 06.** Línea del tiempo de fechas clave del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 07.** Bloque de viviendas para la Fundación Benéfico Social, C/ Torremolinos, Córdoba, 2008. Fuente: Google Maps, Street View, sept 2008.

**Fig. 08.** Bloque de viviendas para la Fundación Benéfico Social, C/ Torremolinos, Córdoba, 2014. Fuente: Google Maps, Street View, feb 2014.

**Fig. 09.** Bloque de viviendas para la Fundación Benéfico Social, C/ Torremolinos, Córdoba, simulación informática en HULC. Fuente: HULC; Elaboración propia.

**Fig. 10.** Sector Sur de Córdoba, 2022. Fuente: Google Earth; Elaboración propia.

**Fig. 11.** Vuelo americano barriada Fray Albino, 1956-57 Fuente: Fototeca Digital PNOA; Elaboración propia.

**Fig. 12.** Ubicación de San Martín de Porres en el Sector Sur, 2022. Fuente: Google Earth; Elaboración propia.

**Fig. 13.** Sectores de San Martín de Porres, 2022. Fuente: Google Earth; Elaboración propia.

**Fig. 14.** Planta tipo. San Martín de Porres. Fuente: De La-Hoz, Rafael. La vivienda social. Arquitectura. 1962, vol. 39, pp.2-15.

**Fig. 15.** Perspectiva seccionada de vivienda tipo. San Martín de Porres. Fuente: De La-Hoz, Rafael. La vivienda social. Arquitectura. 1962, vol. 39, pp.2-15.

**Fig. 16.** Llegada de los primeros inquilinos a las viviendas de San Martín de Porres, 1963. Fuente: Archivo Municipal de Córdoba, autor desconocido.

**Fig. 17.** Bloque 8 de la calle Torremolinos, 2022. Fuente: Google Earth; Elaboración propia.

**Fig. 18.** Fachada principal noreste del bloque 8 en calle Torremolinos, San Martín de Porres, Córdoba, 2008. Obras de rehabilitación integral de la barriada. Fuente: Google Maps, Street View, sept 2008.

**Fig. 19.** Fachada lateral sureste del bloque 8 en calle Torremolinos, San Martín de Porres, Córdoba, 2008. Obras de rehabilitación integral de la barriada. Fuente: Google Maps, Street View, sept 2008.

**Fig. 20.** Planimetría EO del caso de estudio, plantas. Fuente: Elaboración propia desde documentación aportada en estudio para la rehabilitación del Sector Sur de Córdoba <sup>(60)</sup>.

**Fig. 21.** Planimetría EO del caso de estudio, alzados. Fuente: Elaboración propia desde documentación aportada en estudio para la rehabilitación del Sector Sur de Córdoba <sup>(60)</sup>.

**Fig. 22.** Planimetría EO de tipología de paramentos verticales. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 23.** Planimetría EO de tipología de divisiones horizontales. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 24.** Planimetría EO de tipología de huecos. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 25.** Planimetría EO de la envolvente térmica. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 26.** Modelo energético del EO realizado con HULC, fachada principal NE (izq) y fachada trasera SO (der). Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 27.** Tabla 3.1.1.b-HE1. Valor límite  $K_{lim}$  para uso residencial privado en edificios nuevos. Fuente: CTE-DB-HE (2019).

**Fig. 28.** Tabla 3.1.2-HE1. Valor límite del parámetro de control solar,  $q_{sol;jul,lim}$ . Fuente: CTE-DB-HE (2019).

**Fig. 29.** Tabla 3.1.3.b-HE1. Valor límite de la relación del cambio de aire con una presión de 50 Pa,  $n_{50}$  ( $h^{-1}$ ). Fuente: CTE-DB-HE (2019).

**Fig. 30.** Fachada principal noreste del bloque 8 en calle Torremolinos, San Martín de Porres, Córdoba, 2014. Obras de rehabilitación integral de la barriada. Fuente: Google Maps, Street View, feb 2014.

**Fig. 31.** Fachada lateral sureste del bloque 8 en calle Torremolinos, San Martín de Porres, Córdoba, 2014. Obras de rehabilitación integral de la barriada. Fuente: Google Maps, Street View, feb 2014.

**Fig. 32.** Planimetría EA del caso de estudio, plantas. Fuente: Elaboración propia desde documentación aportada en estudio para la rehabilitación del Sector Sur de Córdoba <sup>(60)</sup>.

**Fig. 33.** Planimetría EA del caso de estudio, alzados. Fuente: Elaboración propia desde documentación aportada en estudio para la rehabilitación del Sector Sur de Córdoba <sup>(60)</sup>.

**Fig. 34.** Planimetría EA de tipología de paramentos verticales. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 35.** Planimetría EA de tipología de divisiones horizontales. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 36.** Planimetría EA de tipología de huecos. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 37.** Planimetría EA de la envolvente térmica. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 38.** Modelo energético del EA realizado con HULC, fachada principal NE (izq) y fachada trasera SO (der). Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 39.** Tabla 2 del art. 5º de la NBE-CT-79. Valores máximos de los coeficientes útiles de transmisión térmica K de los cerramientos. Fuente: NBE-CT-79.

**Fig. 40.** Tabla 1 del art. 4º de la NBE-CT-79. Valor límite del coeficiente global de transmisión térmica  $K_G$  del edificio. Fuente: NBE-CT-79.

**Fig. 41.** Tabla 2.2. Valores límite de los parámetros característicos medios. Fuente: CTE-DB-HE (2006).

**Fig. 42.** Tabla 3.1.1.a-HE1. Valores límites de transmitancia térmica,  $U_{lim}$ . Fuente: CTE-DB-HE (2019).

**Fig. 43.** Tabla 3.1.1.b-HE1. Valor límite  $K_{lim}$  para uso residencial privado en reformas de más del 25% de la envolvente térmica. Fuente: CTE-DB-HE (2019).

**Fig. 44.** Tabla a-Anejo E. Transmitancia térmica del elemento, U. Fuente: CTE-DB-HE, 2019.

**Fig. 45.** Planimetría EP de tipología de paramentos verticales. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 46.** Planimetría EP de tipología de huecos. Fuente: Elaboración propia.

**Fig. 47.** Planimetría EP de tipología de divisiones horizontales. Fuente: Elaboración propia.

## 11.2. ÍNDICE DE TABLAS

**Tab. 01.** Estados a diferenciar en la aplicación de la metodología. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 02.** Plan de tareas a realizar en la metodología establecida. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 03.** EO, superficies útiles del bloque caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 04.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Cerramiento 1. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 05.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Cerramiento 2. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 06.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Partición 1. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 07.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Partición 2. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 08.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Partición 3. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 09.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Partición 4. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 10.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Partición 5. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 11.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Forjado 1. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 12.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Forjado 2. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 13.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Forjado 3. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 14.** Caracterización constructiva del edificio en su estado original. Huecos. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 15.** Representación de los sistemas en la envolvente térmica del edificio en su estado original. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 16.** EO, comprobación HE-1. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 17.** EO, comprobación demanda energética general. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 18.** EO, comprobación demanda energética por orientaciones. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 19.** EA, superficies útiles del bloque caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

## 11. LISTADO DE FIGURAS

**Tab. 20.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Cerramiento 1. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 21.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Cerramiento 2. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 22.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Cerramiento 3. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 23.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Cerramiento 4. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 24.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 1. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 25.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 2. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 26.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 3. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 27.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 4. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 28.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 5. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 29.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 6. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 30.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 7. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 31.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Partición 8. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 32.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 1. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 33.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 2. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 34.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 3. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 35.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 4. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 36.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 5. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 37.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 6. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 38.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 7. Fuente: Elaboración propia.

## 11. LISTADO DE FIGURAS

- Tab. 39.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 8. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 40.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 9. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 41.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 10. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 42.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Forjado 11. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 43.** Caracterización constructiva del edificio en su estado actual. Huecos. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 44.** Representación de los sistemas en la envolvente térmica del edificio en su estado actual. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 45.** EA, comprobación HE-1 y comparación respecto al EO. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 46.** EA, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EO. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 47.** EA, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EO. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 48.** Matriz de tipos de estrategias según la conservación del valor patrimonial del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 49.** Relación de espesor y transmitancia térmica de propuesta con XPS y Aerogel. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 50.** Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Cerramiento 1. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 51.** Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Cerramiento 2. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 52.** Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Cerramiento 3. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 53.** Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Cerramiento 4. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 54.** EP, comprobación HE-1 y comparación respecto al EA. Cerramientos. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 55.** EP, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EA. Cerramientos. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 56.** EP, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EA. Cerramientos. Fuente: Elaboración propia.
- Tab. 57.** EP, comprobación de pérdidas por cerramientos por orientaciones y comparación respecto al EA. Cerramientos. Fuente: Elaboración propia.

11. LISTADO DE FIGURAS

**Tab. 58.** Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Huecos. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 59.** EP, comprobación HE-1 y comparación respecto al EA. Huecos: carpinterías y vidrios. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 60.** EP, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EA. Huecos: carpinterías y vidrios. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 61.** EP, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EA. Huecos: carpinterías y vidrios. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 62.** EP, comprobación de pérdidas por huecos por orientaciones y comparación respecto al EA. Huecos: carpinterías y vidrios. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 63.** EP, comprobación HE-1 y comparación respecto al EA. Huecos: protecciones solares. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 64.** EP, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EA. Huecos: protecciones solares. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 65.** EP, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EA. Huecos: protecciones solares. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 66.** EP, comprobación de ganancias solares en huecos por orientaciones y comparación respecto al EA. Huecos: protecciones solares. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 67.** EP, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EA. Huecos: ventilación nocturna. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 68.** EP, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EA. Huecos: ventilación nocturna. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 69.** EP, comprobación de pérdidas por ventilación por orientaciones y comparación respecto al EA. Huecos: ventilación nocturna. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 70.** Relación de espesor y transmitancia térmica de propuesta cubierta Kalzip. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 71.** Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Forjado 3. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 72.** Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Forjado 9. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 73.** Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Forjado 10. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 74.** Caracterización constructiva del edificio en su estado propuesta. Forjado 11. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 75.** EP, comprobación HE-1 y comparación respecto al EA. Cubierta. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 76.** EP, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EA. Cubierta. Fuente: Elaboración propia.



**11. LISTADO DE FIGURAS**

**Tab. 77.** EP, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EA. Cubierta. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 78.** EP, comprobación de pérdidas por cubierta por orientaciones y comparación respecto al EA. Cubierta. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 79.** Resumen de las soluciones empleadas en la estrategia combinada. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 80.** EP, comprobación HE-1 y comparación respecto al EA. Combinación de estrategias. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 81.** EP, comprobación demanda energética general y comparación respecto al EA. Combinación de estrategias. Fuente: Elaboración propia.

**Tab. 82.** EP, comprobación demanda energética por orientaciones y comparación respecto al EA. Combinación de estrategias. Fuente: Elaboración propia.

