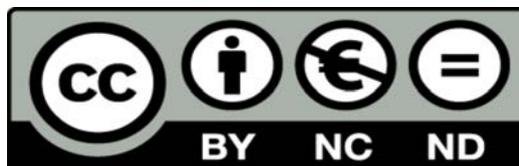




# UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

## TESIS DOCTORAL

Título
<b>Metodología para la evaluación de la sostenibilidad en ladrillos de mortero dopados con triturado de hueso de oliva</b>
Autor/es
<b>Alejandro San Vicente Navarro</b>
Director/es
Esteban Fraile García y Javier Ferreiro Cabello
Facultad
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Titulación
Departamento
Ingeniería Mecánica
Curso Académico
2023-2024



Metodología para la evaluación de la sostenibilidad en ladrillos de mortero dopados con triturado de hueso de oliva, tesis doctoral de Alejandro San Vicente Navarro, dirigida por Esteban Fraile García y Javier Ferreiro Cabello (publicada por la Universidad de La Rioja), se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.  
Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

**TESIS DOCTORAL**

**2023**

**Programa de Doctorado en Innovación en Ingeniería  
de Producto y Procesos Industriales por la  
Universidad de La Rioja**

**METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA  
SOSTENIBILIDAD EN LADRILLOS DE MORTERO  
DOPADOS CON TRITURADO DE HUESO DE OLIVA**

**Alejandro San Vicente Navarro**

**Director:** Esteban Fraile García

**Codirector:** Javier Ferreiro Cabello

# TÍTULO DE LA TESIS

## **METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LADRILLOS DE MORTERO DOPADOS CON TRITURADO DE HUESO DE OLIVA**

DOCTORANDO: Alejandro San Vicente Navarro

INFORME RAZONADO DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS:

Los avances tecnológicos de las últimas décadas han enfocado su atención en la eficiencia medioambiental de todos los sectores productivos, y la búsqueda de técnicas que reduzcan el consumo de recursos naturales y minimicen el impacto en el entorno natural.

En este sentido, es crucial destacar la importancia de la gestión de residuos en general y, en particular, de aquellos generados por la industria. La sociedad actual está cada vez más concienciada sobre la necesidad de transformar los residuos en recursos, con el fin de disminuir el impacto negativo de la actividad humana en el medio ambiente en un ciclo que se ha denominado Economía Circular. Además, la exploración y desarrollo de nuevas tecnologías de aprovechamiento de energías renovables, contribuye a reducir la dependencia energética de países externos, lo que se traduce en una disminución de los costes por importación de recursos energéticos.

En este contexto, la presente Tesis Doctoral tiene como objetivo estudiar la viabilidad de la utilización sostenible de residuos (neumáticos fuera de uso y hueso de oliva) incorporados a materiales de base cemento para su empleo en edificación (concretamente ladrillos GERO de mortero).

Esta iniciativa se enmarca en el concepto de "Construcción Sostenible", que busca abordar desde el punto de vista de la ingeniería y la sostenibilidad tres pilares fundamentales:

- Viabilidad técnica
- Conservación del medioambiente
- Reutilización de recursos.

Estos pilares se han desarrollado de forma coherente a lo largo del transcurso de esta investigación que ha culminado con la publicación de dos artículos en dos de las revistas más prestigiosas en el área de materiales y construcción [1][2], y un tercero que se encuentra en revisión por la publicación a fecha presente.

La Tesis Doctoral cubre exhaustivamente los objetivos establecidos previamente, respecto a la caracterización del comportamiento térmico de la adición de ciertos residuos (neumáticos fuera de uso y hueso de oliva) en la fabricación de materiales de construcción tratados con cemento, así como el análisis de sus posibles aplicaciones en construcción de edificios desde el punto de vista energético, económico, ambiental y social.

En definitiva, la Tesis Doctoral "METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LADRILLOS DE MORTERO DOPADOS CON TRITURADO DE HUESO DE OLIVA" se erige como un trabajo fundamental para el avance en la construcción sostenible, al abordar la reutilización de residuos de neumáticos fuera de uso y hueso de oliva como un recurso valioso al demostrar la viabilidad técnica, económica y social de su aplicación en materiales de base cemento para edificación.

En Logroño, a 29 de Enero de 2024

Firma de los directores de tesis:

Esteban Fraile García

Javier Ferreiro Cabello

# DEDICATORIA

Quiero dedicar esta Tesis a las personas más importantes de mi vida.

Alejandro San Vicente Gaviria

María Estrella Navarro Navarrete

Estela Vicario Renuncio

Gonzalo San Vicente Vicario

Rodrigo San Vicente Vicario

# AGRADECIMIENTOS

Agradecer la ayuda de todas las personas que en algún momento han colaborado en la realización de este trabajo, en particular a los directores de Tesis:

Esteban Fraile García

Javier Ferreiro Cabello

Luis María López González

A los compañeros que colaboraron en la redacción y publicación de los artículos y realización de los ensayos: Manuel Antonio Mendivil Giró, Sonia Vitores Calvo,

Jorge Los Santos Ortega y Luis María López Ochoa

Y a la Universidad de La Rioja, por proporcionar todo lo necesario, tanto en instalaciones, como en materiales y recursos para hacer posible esta Tesis.

# ARTÍCULOS PUBLICADOS

## ARTÍCULO 1 – Anexo 1

Thermal behaviour of hollow blocks and bricks made of concrete doped with waste tyre rubber

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.015>

Construction and Building Materials 176 (2018) 193–200

## ARTÍCULO 2 – Anexo 2

Alternative Use of the Waste from Ground Olive Stones in Doping Mortar Bricks for Sustainable Façades

<https://doi.org/10.3390/buildings13122992>

Buildings 2023,13, 2992.

## RESUMEN

El reciclaje de residuos y la reducción del consumo de combustibles fósiles son, desde hace un par de décadas, estrategias fundamentales de la Unión Europea en la lucha contra el cambio climático y el calentamiento global, impulsando lo que se ha denominado economía circular. Son muchas las directivas y regulaciones que respaldan este enfoque.

El ámbito de la construcción se presenta como un escenario ideal para la aplicación del concepto de economía circular. En este contexto, es posible desarrollar materiales compuestos que incorporan residuos provenientes de diversos procesos, muchas veces ajenos al sector de la construcción, con el fin de mejorar las propiedades del producto final.

El hormigón y el mortero, por ejemplo, son materiales de construcción ampliamente utilizados debido a sus óptimas propiedades mecánicas de compresión, durabilidad y disponibilidad. Sin embargo, la industria del cemento, su principal componente, es una gran fuente de emisiones de CO<sub>2</sub>.

La sustitución parcial del árido por materiales reciclados en la fabricación de mortero y hormigón puede reducir su gran impacto ambiental e, incluso, mejorar algunas propiedades como su capacidad de aislamiento térmico, cumpliendo de esta manera con las, cada vez más exigentes, regulaciones europeas de eficiencia energética.

La idea principal de esta investigación doctoral es, por tanto, comprobar como la adición de diversos materiales reciclados al mortero puede mejorar su comportamiento térmico, así como analizar una metodología capaz de evaluar la sostenibilidad energética, económica, ambiental y social en un caso práctico de dopado de ladrillos de mortero.

En esta tesis se analizan dos tipos de residuos: caucho procedente de neumáticos fuera de uso y triturado de hueso de oliva procedente de las operaciones industriales en la obtención de aceite de oliva.

En un primer ensayo experimental realizado con probetas de mortero dopado con triturado de neumáticos fuera de uso (NFU) se demuestra que se pueden lograr mejoras significativas en el comportamiento térmico con una disminución limitada de la resistencia a la compresión evaluando su desempeño en condiciones reales.

En esta parte de la investigación se fabrican probetas de productos de mortero y hormigón comercial (ladrillos, bovedillas y viguetas) con diferentes proporciones de caucho de neumático agregado y se construyen celdas cerradas para evaluar el efecto de este dopado.

Los resultados son, en resumen, ciertamente positivos y permite avanzar en una segunda línea derivada de esta primera, mediante la sustitución parcial del árido en la fabricación de morteros por el residuo agrícola procedente del triturado de hueso de oliva.

La decisión de utilizar otro residuo para este segundo estudio experimental se sustenta en la idea de ratificar la mejora de las propiedades térmicas del mortero dopado con ciertos materiales (avalada inicialmente con el triturado de neumáticos fuera de uso) así como poder utilizar un residuo más barato y de mayor cantidad local que permitiese su utilización industrial a mayor escala.

En el contexto de esta segunda parte de la investigación, se busca evaluar la sostenibilidad energética, económica, ambiental y social derivada de la incorporación de hueso de oliva en la industria de la construcción como material de dopado en morteros para mejorar el aislamiento térmico y poder utilizarlo como sustituto de un ladrillo GERO convencional en edificación residencial en España.

La metodología seguida para conocer las prestaciones de este mortero dopado consiste en el cálculo de la conductividad térmica según norma UNE-EN 12939:2001 mediante ensayo de varias probetas, empleando un porcentaje diferente de dopado de triturado de huesillo de oliva (entre 0 y 30%) en sustitución del árido tradicional y compararlo con los valores habituales del mortero sin dopar.

Posteriormente, los datos obtenidos son analizados para obtener una ecuación de regresión polinómica de tendencia en el cálculo de la conductividad en función del porcentaje de triturado de huesillo de oliva.

Una vez que se constata la reducción de la conductividad térmica del mortero dopado con triturado de hueso de oliva, la línea de investigación de esta tesis se dirige, finalmente, a la simulación energética de una construcción de un edificio residencial nuevo con ladrillos dopados con este aditivo (triturado de hueso de oliva) como sustituto de los áridos empleados en los ladrillos de mortero.

Se analiza la sostenibilidad energética, económica, ambiental y social del dopado de ladrillos tipo GERO de mortero con triturado de hueso de oliva en un porcentaje entre el

5% y el 15% en volumen para su uso en la construcción de edificios (los porcentajes superiores al 15% se descartan por su inviabilidad energética).

Para esta misión, se evalúa su efectividad en un caso de estudio práctico mediante la simulación energética en un edificio residencial nuevo construido en España que analiza el ahorro energético debido a la reducción de la demanda térmica conjunta de calefacción y refrigeración y producido por la mejora del aislamiento térmico de la fachada causada por la sustitución de la arena del mortero tradicional por huesillo de oliva triturado. Además, se compara este ahorro energético anual con la potencial energía térmica generada por la combustión del hueso de oliva triturado en una caldera de biomasa pudiendo, de esta manera, conocer el tiempo necesario en años para rentabilizar esta aplicación en construcción.

En el análisis económico se muestra como el uso de triturado de hueso de oliva en reemplazo parcial de la arena en el mortero puede generar ahorros significativos y rentabilidades económicas a medio plazo (10-20 años), más rápidos incluso que los obtenidos por ahorro de energía debido a la reducción del consumo de energía convencional en las instalaciones de calefacción y climatización.

En el análisis de ciclo de vida ambiental (ACV) se demuestra que el uso del triturado de hueso de oliva en ladrillos perforados de tipo GERO también reduce los impactos medioambientales a medio plazo y en el análisis de ciclo de vida social (ACSV) se destaca que el uso de triturado de hueso de oliva en la construcción puede tener un impacto positivo en las comunidades locales, al generar empleo y mejorar la calidad de vida de las personas involucradas en la recolección y procesamiento de los residuos de oliva.

En resumen, se concluye que el dopado de ladrillos de mortero con triturado de hueso de oliva puede tener un impacto positivo en la economía, la sociedad y el medio ambiente, y representa una alternativa sostenible y rentable para la industria de la construcción.

## ABSTRACT

Waste recycling and reducing fossil fuel consumption have been, for a couple of decades, fundamental strategies of the European Union in the fight against climate change and global warming, promoting what has been called circular economy. There are many directives and regulations that support this approach.

The construction field is presented as an ideal scenario for the application of the circular economy concept. In this context, it is possible to develop composite materials that incorporate waste from various processes, often unrelated to the construction sector, in order to improve the properties of the final product.

Concrete and mortar, for example, are widely used construction materials due to their optimal compression mechanical properties, durability and availability. However, the cement industry, its main component, is a large source of CO<sub>2</sub> emissions.

The partial replacement of aggregate with recycled materials in the manufacture of mortar and concrete can reduce its great environmental impact and even improve some properties such as its thermal insulation capacity, thus complying with the increasingly demanding European regulations on energy efficiency.

The main idea of this doctoral research is, therefore, to verify how the addition of various recycled materials to mortar can improve its thermal behavior, as well as to analyze a methodology capable of evaluating energy, economic, environmental and social sustainability in a practical case of doping mortar bricks.

In this thesis, two types of waste are analyzed: rubber from out-of-use tires and crushed olive pits from industrial operations in obtaining olive oil.

In a first experimental test carried out with mortar specimens doped with shredded out-of-use tires (NFU), it is demonstrated that significant improvements in thermal behavior can be achieved with a limited decrease in compression resistance by evaluating its performance in real conditions.

In this part of the research, specimens of commercial mortar and concrete products (bricks, vaults and joists) are manufactured with different proportions of added tire rubber and closed cells are built to evaluate the effect of this doping.

The results are, in summary, certainly positive and allow progress in a second line derived from this first, by partially replacing the aggregate in the manufacture of mortars with agricultural waste from the crushing of olive pits.

The decision to use another waste for this second experimental study is based on the idea of ratifying the improvement of the thermal properties of the mortar doped with certain materials (initially supported by the shredding of out-of-use tires) as well as being able to use a cheaper waste, and of greater local quantity that would allow its industrial use on a larger scale.

In the context of this second part of the research, we seek to evaluate the energetic, economic, environmental and social sustainability derived from the incorporation of olive pits in the construction industry as a doping material in mortars to improve thermal insulation and power. use it as a substitute for a conventional GERO brick in residential construction in Spain.

The methodology followed to know the performance of this doped mortar consists of calculating the thermal conductivity according to UNE-EN 12939:2001 by testing several specimens, using a different doping percentage of crushed olive pits (between 0 and 30 %) to replace traditional aggregate and compare it with the usual values of undoped mortar.

Subsequently, the data obtained are analyzed to obtain a polynomial regression equation of trend in the calculation of conductivity as a function of the percentage of crushed olive pits.

Once the reduction in thermal conductivity of the mortar doped with crushed olive stone is confirmed, the line of research of this thesis is finally directed to the energy simulation of a construction of a new residential building with bricks doped with this additive (crushed olive pit) as a substitute for the aggregates used in mortar bricks.

The energetic, economic, environmental and social sustainability of doping GERO-type bricks with mortar with crushed olive pits in a percentage between 5% and 15% by volume for use in the construction of buildings is analyzed (higher percentages 15% are discarded due to their energy infeasibility).

For this mission, its effectiveness is evaluated in a practical case study through energy simulation in a new residential building built in Spain that analyzes the energy savings due to the reduction of the joint thermal demand for heating and cooling and produced by the improvement of the thermal insulation of the façade caused by replacing the sand in

the traditional mortar with crushed olive pits. Furthermore, this annual energy saving is compared with the potential thermal energy generated by the combustion of the crushed olive pit in a biomass boiler, thus being able to know the time necessary in years to make this application profitable in construction.

The economic analysis shows how the use of crushed olive pits in partial replacement of sand in the mortar can generate significant savings and economic returns in the medium term (10-20 years), even faster than those obtained by saving energy due to the reduction of conventional energy consumption in heating and air conditioning installations.

The environmental life cycle analysis (LCA) shows that the use of crushed olive pits in GERO-type perforated bricks also reduces environmental impacts in the medium term and the social life cycle analysis (ACSV) highlights that the use of crushed olive pits in construction can have a positive impact on local communities, by generating employment and improving the quality of life of people involved in the collection and processing of olive waste.

In summary, it is concluded that doping mortar bricks with crushed olive pits can have a positive impact on the economy, society and the environment, and represents a sustainable and profitable alternative for the construction industry.

## KEYWORDS

Thermal conductivity, ground olive stone, dope mortar, perforated brick, façade, sustainability, Thermal behaviour, building elements, olive bone, doped concrete, circular economy, sustainable construction, waste-tyre rubber, used tires, sustainable construction, social cycle of life, life cycle cost

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Título de la tesis.....	1
Dedicatoria.....	3
Agradecimientos .....	4
Artículos Publicados .....	5
Resumen .....	6
Abstract.....	9
Keywords.....	11
Índice de Contenidos.....	12
Índice de Ilustraciones .....	23
Índice de Tablas.....	26
Introducción .....	30
1.    Introducción .....	31
1.1.    Caucho de neumáticos fuera de uso.....	35
1.2.    Triturado de hueso de oliva .....	37
Objetivos e Hipótesis.....	41
1.    Objetivos .....	42
2.    Hipótesis .....	43
Estado del arte del reciclado de residuos, economía circular, desarrollo sostenible y dopado de materiales de construcción con residuos .....	45
1.    Reciclado de residuos.....	46
1.1.    Reciclado de residuos como aislamiento térmico .....	49
1.2.    Residuo de Neumáticos fuera de uso .....	52

---

1.3.	Residuo de Hueso de Oliva.....	54
2.	Economía circular.....	56
2.1.	Definición.....	56
2.2.	Los principios de la economía circular.....	57
2.3.	Las 7Rs en la economía circular.....	58
2.4.	La Unión Europea y la economía circular.....	60
2.4.1.	Paquete de economía circular.....	61
2.4.2.	Directiva sobre residuos.....	62
2.5.	España y la economía circular.....	64
2.5.1.	Plan de Acción de Economía Circular.....	65
3.	Desarrollo sostenible.....	68
3.1.	Agenda 2030: Objetivos de desarrollo sostenible.....	69
4.	El reciclado de residuos y la economía circular.....	71
4.1.	Dopado de materiales de construcción con residuos.....	72
5.	Reducción de conductividad térmica de mezcla de residuos con mortero y hormigón.....	74
5.1.	Dopado de mortero y hormigón con residuos.....	74
5.2.	Conductividad térmica.....	75
	El residuo de hueso de oliva en España.....	78
1.	Producción de hueso de oliva en España.....	79
2.	El hueso de oliva.....	86
3.	Análisis económico del precio de hueso de oliva.....	93
	Evolución histórica de la normativa de eficiencia energética en edificación en Europa y España.....	97
1.	Eficiencia energética en edificación: Antecedentes históricos.....	98
1.1.	Hasta 1979.....	98
1.2.	NBE-CT-79 e Instrucciones Técnicas Complementarias.....	98

---

---

1.3.	Directivas Europeas 92/42/CEE y 93/76/CEE .....	99
1.4.	Directiva 2002/91/CE y Real Decreto 314/2006 (primer Código Técnico de la Edificación) .....	100
1.5.	Directiva 2010/31/UE y la Orden FOM/1635/2013 (segundo Código Técnico de la Edificación) .....	102
1.6.	Directiva 2010/31/UE y Orden FOM/588/2017 (Tercer Código Técnico de la Edificación) .....	103
1.7.	Directiva 2010/31/UE y Real Decreto 732/2019 (Cuarto Código Técnico de la Edificación) .....	104
1.8.	Directiva 2012/27/UE.....	105
1.9.	Directiva 2018/844/UE y Directiva 2018/2002/UE.....	105
1.10.	Resumen actualizaciones norma edificación en España .....	106
1.11.	Futura directiva europea en edificación: Objetivo 2030 y 2050.....	107
Metodología: Resumen.....		109
1.	Resumen Metodológico .....	110
1.1.	Metodología experimental: Realización de ensayos e hipótesis de trabajo 111	
1.2.	Evaluación de la sostenibilidad energética .....	112
1.3.	Evaluación de la sostenibilidad económica, ambiental y social.....	113
Metodología experimental Parte 1: Comprobación de la reducción de conductividad térmica del mortero de cemento con la adición de residuos de caucho .....		114
1.	Relación del dopado de materiales al mortero y la reducción de conductividad térmica.....	115
2.	Reducción de conductividad térmica del cemento con dopado de caucho.	116
3.	Ensayo experimental de comportamiento térmico de mortero dopado con caucho .....	119
4.	Materiales utilizados en el ensayo .....	120
5.	Mezclas realizadas.....	121

---

---

6.	Fabricación de los elementos.....	122	
7.	Construcción de las celdas.....	123	
8.	Método de ensayo.....	125	
Metodología Experimental Parte 2: Ensayo de conductividad térmica de probetas de mortero con dopado de hueso de oliva.....			127
1.	Ensayo de cuantificación de conductividad térmica .....	128	
2.	Adición de hueso de oliva .....	129	
3.	Justificación de ensayos con dos residuos.....	130	
4.	Reducción de conductividad térmica del dopado de mortero con dopado de hueso de oliva.....	131	
5.	Utilización de ladrillos de mortero con dopado de hueso de oliva.....	132	
6.	Ensayo con probetas de mortero dopado con hueso de oliva para medición de conductividad térmica.....	133	
7.	Materiales utilizados.....	135	
7.1.	Materiales.....	135	
7.1.1.	Áridos.....	135	
7.1.2.	Agua.....	135	
7.1.3.	Triturado de hueso de oliva.....	136	
7.1.4.	Cemento Portland.....	138	
7.2.	Mezclas.....	141	
7.3.	Fabricación de las probetas.....	142	
7.3.1.	Probetas utilizadas.....	142	
7.3.2.	Montaje de los moldes.....	145	
7.3.3.	Llenado del molde .....	145	
7.3.4.	Secado, desmoldado y codificación de las probetas.....	146	
8.	Método de ensayo.....	149	
8.1.	UNE-EN 12939:2001 .....	149	

---

---

8.2.	Máquina GUNT WL360 .....	150	
8.3.	Software GUNT WL376, versión 2.3. ....	154	
8.4.	Obtención del parámetro $\lambda_{10}$ .....	155	
Metodología de evaluación de la sostenibilidad energética: Caso práctico con ladrillo GERO dopado de triturado de hueso de oliva .....			157
1.	Planteamiento del caso práctico .....	158	
1.1.	Ladrillo de mortero dopado .....	158	
1.2.	Software utilizado: HULC .....	158	
1.3.	Modelo edificatorio .....	158	
1.4.	Objetivo de la simulación energética.....	161	
1.5.	Ladrillo GERO .....	161	
1.6.	Valores de conductividad térmica utilizados .....	163	
1.7.	Densidades medias del mortero utilizado en la simulación energética.....	164	
1.8.	Composición de los morteros utilizados .....	164	
1.9.	Cantidad de hueso por m <sup>2</sup> de fachada .....	165	
1.10.	Resto de envolvente: Fachada SATE .....	166	
2.	Modelo edificatorio para simulación energética .....	168	
3.	Características Dimensionales del modelo de simulación .....	170	
3.1.	Modelo en planta .....	170	
3.2.	Plantas .....	171	
3.3.	Planta Baja: Locales comerciales y portal.....	171	
3.4.	Plantas 1ª a 4ª: residencial de viviendas.....	173	
3.5.	Superficie útil total de planta .....	175	
3.5.1.	Zonas comunes .....	175	
3.6.	Planta Bajo cubierta: Trasteros .....	176	
4.	Envolvente térmica.....	177	
4.1.	Cerramiento de fachada .....	178	

---

---

4.1.1.	Fachada Sur .....	179
4.1.2.	Fachada Norte.....	180
4.2.	Cerramiento medianera .....	181
4.2.1.	Medianera y patio Este .....	182
4.2.2.	Medianera y patio Oeste .....	183
4.3.	Suelo en contacto con el terreno.....	184
4.4.	Cubierta .....	184
4.5.	Huecos.....	185
4.6.	Resumen de fachadas.....	188
4.7.	Resumen de huecos.....	189
4.8.	Forjados con zonas no habitables .....	190
4.9.	Particiones verticales interiores.....	190
4.10.	Puentes térmicos .....	191
5.	Comparación entre modelos .....	193
6.	Cumplimiento por el modelo edificatorio del Código técnico de la Edificación (CTE) .....	194
6.1.	Zonas climáticas según CTE.....	194
6.2.	Evolución de zonas climáticas .....	196
6.3.	Primeras simulaciones térmicas.....	198
6.4.	Real Decreto 314/2006 - Primer Código Técnico de la Edificación en España 200	
6.5.	Evolución del Código técnico de la Edificación .....	202
6.6.	Modelización según CTE 2019 (Real Decreto 732/2019).....	202
7.	Características constructivas del modelo de simulación según CTE 2019 .....	205
7.1.	Justificación del Control de la Demanda Energética (CTE-DB-HE1).....	205
7.2.	Transmitancia Global de la envolvente térmica (K) .....	206
7.2.1.	Cerramiento de fachada.....	208

---

---

7.2.2.	Cerramiento de medianera .....	210
7.2.3.	Huecos .....	211
7.2.4.	Cubierta .....	213
7.2.5.	Suelo en contacto con el terreno .....	213
7.2.6.	Forjados con zonas no habitables.....	215
7.2.7.	Particiones Verticales interiores con espacios no habitables .....	219
7.2.8.	Puentes térmicos.....	221
7.3.	Control solar .....	222
7.4.	Comportamiento higrotérmico de condensaciones.....	222
7.5.	Permeabilidad de las carpinterías de huecos .....	223
7.5.1.	Permeabilidad al aire de los huecos ( $Q_{100}$ ) .....	223
7.5.2.	Permeabilidad al aire completa ( $n_{50}$ ) .....	227
7.5.3.	Limitación de descompensaciones .....	227
8.	Resumen de envolventes .....	228
8.1.	Resultados medios por zonas climáticas .....	230
9.	Nomenclatura de simulación y Versión de HULC utilizada .....	232
10.	Justificación de reducción de modelos para simulación energética .....	232
11.	Degradación de la fachada .....	233
12.	Cerramientos de envolvente utilizados en la simulación.....	236
12.1.	Zona Climática A – Almería .....	236
12.2.	Zona Climática B – Sevilla .....	243
12.3.	Zona Climática C – Barcelona .....	250
12.4.	Zona Climática D – Logroño .....	257
12.5.	Zona Climática E – Soria .....	264
13.	Simulación energética.....	271
	Metodología de Evaluación de la sostenibilidad económica del dopado de triturado de hueso de oliva en ladrillos de mortero para construcción de edificios .....	275

---

---

1. Sostenibilidad económica, ambiental y social de la utilización de ladrillos GERO dopados con triturado de hueso de oliva .....	276
2. Análisis del coste de mortero dopado con hueso de oliva .....	277
3. Sostenibilidad económica del dopado de ladrillos GERO de mortero con triturado de hueso de oliva para construcción de edificios .....	281
3.1. Ahorro energético en la demanda de energía para climatización (kWh) por m <sup>2</sup> de fachada y año .....	282
3.2. Ahorro en el consumo de energía final en climatización (kWh) por m <sup>2</sup> de fachada y año .....	283
3.2.1. Aerotermia .....	283
3.2.2. Calderas de condensación de gas natural .....	284
3.2.3. Calderas de biomasa .....	285
3.2.4. Resultados de ahorro en consumo de energía final en climatización (kWh) por m <sup>2</sup> de fachada y año .....	286
3.3. Precios de las fuentes de energía .....	288
3.4. El concepto de inversión .....	290
3.4.1. Tasa de descuento .....	291
3.5. Métodos de evaluación de inversiones .....	292
3.5.1. Métodos estáticos .....	292
3.5.2. Métodos dinámicos .....	294
Metodología de Evaluación de la sostenibilidad ambiental del dopado de triturado de hueso de oliva en ladrillos de mortero para construcción de edificios .....	298
1. Análisis de ciclo de vida ambiental del ladrillo GERO de mortero dopado con triturado de hueso de oliva .....	299
1.1. Introducción al análisis de ciclo de vida ambiental (ACV) .....	299
1.2. Metodología y caso de estudio .....	299
1.3. Fuente de datos y software utilizado .....	299
1.4. Objetivos y alcance .....	300

---

---

1.4.1. Unidad funcional .....	300
1.4.2. Condiciones de contorno .....	301
1.4.3. Inventario de ciclo de vida (ICV - LCI) .....	304
1.4.4. Evaluación del impacto de ciclo de vida (ACV - LCA) .....	309
Metodología de Evaluación de la sostenibilidad social del dopado de triturado de hueso de oliva en ladrillos de mortero para construcción de edificios .....	311
1. Análisis de ciclo de vida social del ladrillo GERO de mortero dopado con triturado de hueso de oliva .....	312
1.1. Ciclo de vida social (ACV-S) .....	312
1.2. Ciclo de vida social (ACV-S) del ladrillo GERO dopado con hueso de oliva	314
1.2.1. Alcance .....	314
1.2.2. Inventario .....	319
1.2.3. Técnica de evaluación .....	319
Resultados .....	320
1. Resultados del ensayo experimental de comprobación de la reducción de conductividad térmica del mortero de cemento con la adición de residuos de caucho	321
1.1. Artículo publicado .....	329
2. Resultados del ensayo de determinación de conductividad térmica en probetas de mortero dopado con hueso de oliva .....	330
2.1. Conos de Abrams .....	330
2.2. Valores Obtenidos de conductividad .....	331
2.3. Curva de regresión polinómica .....	331
2.4. Coeficiente de determinación $R^2$ .....	333
3. Resultados de la metodología de evaluación de la sostenibilidad energética. 335	
3.1. Simulación Energética Zona climática A – Almería .....	335
3.2. Simulación Energética Zona climática B – Sevilla .....	337

---

---

3.3.	Simulación Energética Zona climática C – Barcelona.....	339
3.4.	Simulación Energética Zona climática D – Logroño .....	341
3.5.	Simulación Energética Zona climática E – Soria .....	343
3.6.	Resumen de ahorro energético en demanda conjunta de calefacción y refrigeración.....	345
3.7.	Artículo publicado .....	349
4.	Resultados de la metodología de evaluación de la sostenibilidad económica	350
5.	Resultados de la metodología de evaluación de la sostenibilidad ambiental ..	352
5.1.1.	Análisis de ciclo de vida ambiental de la cuna a la puerta - Fase de producción 1m <sup>2</sup> fachada.....	352
5.1.2.	Análisis de ciclo de vida ambiental de la cuna a la tumba - Fase de uso del mortero .....	355
6.	Resultados de la metodología de evaluación de la sostenibilidad social .....	359
6.1.	Análisis de ciclo de vida social.....	359
	Discusión de los resultados .....	362
1.	Ensayo experimental con dopado de caucho.....	363
2.	Ensayo de determinación de conductividad térmica del mortero dopado con triturado de hueso de aceituna .....	366
3.	Sostenibilidad energética .....	369
4.	Sostenibilidad económica.....	373
5.	Sostenibilidad ambiental (ACV) .....	376
6.	Sostenibilidad social (ACV-S) .....	379
	Conclusiones .....	380
1.	Conclusiones .....	381
	Trabajos Futuros.....	385
1.	Proyección de nuevos trabajos de investigación .....	386
	Anexo I - Artículo publicado en “Construction and building materiales” .....	387

---



Anexo II - Artículo publicado en "Buildings" .....	396
Anexo III – Modelos de Envolverte utilizados en Simulación energética: Distintas combinaciones de zonas climáticas .....	417
Bibliografía .....	563
1. Bibliografía .....	564

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 - EVOLUCIÓN DE SUPERFICIE DE OLIVAR EN ESPAÑA (2010-2020) EN MILES DE HECTÁREAS SEGÚN MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN DEL GOBIERNO DE ESPAÑA. _____	79
ILUSTRACIÓN 2 - EVOLUCIÓN DE SUPERFICIE DE OLIVAR EN SECANO Y REGADÍO EN ESPAÑA (2010-2021) SEGÚN MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN DEL GOBIERNO DE ESPAÑA. _____	81
ILUSTRACIÓN 3 - PRODUCCIÓN TOTAL EN ESPAÑA (2010-2020) EN MILES DE TONELADAS DE OLIVA SEGÚN MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN DEL GOBIERNO _____	82
ILUSTRACIÓN 4 - MAPA DE PORCENTAJES DE PRODUCCIÓN DE KG DE HUESO DE OLIVA EN ESPAÑA. _____	85
ILUSTRACIÓN 5 - EVOLUCIÓN DE MEDIA DEL PRECIO ANUAL POR TONELADA DE HUESO (€/TN) DE OLIVA EN ESPAÑA. _____	93
ILUSTRACIÓN 6 - EVOLUCIÓN DE MEDIA DEL PRECIO ANUAL DEL PRECIO (€CENTS) DEL KWH DEL HUESO DE OLIVA EN ESPAÑA. _____	94
ILUSTRACIÓN 7 - EVOLUCIÓN DE PRECIOS MEDIOS EN ESPAÑA DEL KWH DE ENERGÍA PRIMARIA DE ELECTRICIDAD, GAS NATURAL SEGÚN DATOS DE EUROSTAT Y HUESO DE OLIVA (PERIODO 2017-2022). _____	95
ILUSTRACIÓN 8 - RESUMEN DE NORMATIVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIÓN EN ESPAÑA. _____	106
ILUSTRACIÓN 9 – HUNDIDO DE MORTERO EN CONO DE ABRAMS _____	121
ILUSTRACIÓN 10 - EJEMPLO DE PIEZAS DE LADRILLOS Y BOVEDILLAS OBTENIDAS EN LA INSTALACIÓN INDUSTRIAL. _____	122
ILUSTRACIÓN 11 - FABRICACIÓN DE VIGUETAS EN CELOSÍA CON PELÍCULA DE CAPA DE CAUCHO INCORPORADA _____	123
ILUSTRACIÓN 12 – CELDAS CONSTRUIDAS _____	124
ILUSTRACIÓN 13 - COMPOSICIÓN DE LAS CELDAS Y POSICIÓN DE LAS SONDAS. _____	125
ILUSTRACIÓN 14 - TRITURADO DE HUESO DE OLIVA EN BIG-BAG _____	137
ILUSTRACIÓN 15 – TRITURADO DE HUESO DE OLIVA EMPLEADO EN EL DOPAJE DE LAS PROBETAS DE MORTERO _____	137
ILUSTRACIÓN 16 - CEMENTOS UTILIZADOS EN LAS PROBETAS REALIZADAS _____	140
ILUSTRACIÓN 17 – EJEMPLO DE PROCESO DE PESAJE DE LAS CANTIDADES NECESARIAS PARA LAS PROBETAS _____	143
ILUSTRACIÓN 18 - EJEMPLO DE REALIZACIÓN DE LA AMASADA DE MORTERO _____	143
ILUSTRACIÓN 19 - TIPOS DE CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN SEGÚN CÓDIGO ESTRUCTURAL _____	144
ILUSTRACIÓN 20 – EJEMPLO DE REALIZACIÓN DEL CONO DE ABRAMS _____	144
ILUSTRACIÓN 21 - EJEMPLO DE LIMPIEZA Y APLICACIÓN DE DESENCOFRANTE A LOS MOLDES _____	145
ILUSTRACIÓN 22 - EJEMPLO DEL LLENADO DE LAS PROBETAS _____	146
ILUSTRACIÓN 23 – EJEMPLO DE PROCESO DE SECADO DE LAS PROBETAS _____	147
ILUSTRACIÓN 24 - EJEMPLO DE EXTRACCIÓN DE LAS PROBETAS _____	147
ILUSTRACIÓN 25 - EJEMPLO DE EXTRACCIÓN DE LAS PROBETAS COMPLETADO _____	148
ILUSTRACIÓN 26 - EJEMPLO DE CODIFICACIÓN DE LAS PROBETAS _____	148
ILUSTRACIÓN 27 - MÁQUINA TÉRMICA EMPLEADA, MODELO WL 376 DE LA EMPRESA GUNT Y DESCRIPCIÓN DE SUS PARTES _____	151

---

ILUSTRACIÓN 28 - PROBETA TÉRMICA COLOCADA EN POSICIÓN	152
ILUSTRACIÓN 29 - PANTALLA DE DIAGRAMA DEL SISTEMA DEL SOFTWARE	154
ILUSTRACIÓN 30 - DIMENSIONES EN PLANTA DEL EDIFICIO MODELO	159
ILUSTRACIÓN 31 - MODELO 3D DEL EDIFICIO	159
ILUSTRACIÓN 32 - EJEMPLO DE LADRILLO GERO PERFORADO	161
ILUSTRACIÓN 33 - ZONAS CLIMÁTICAS SEGÚN CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN EN ESPAÑA	166
ILUSTRACIÓN 34- CARACTERÍSTICAS DEL MODELO 6.2 CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS EXISTENTES DEL IDAE	169
ILUSTRACIÓN 35 – DIMENSIONES EN PLANTA DEL EDIFICIO MODELO	170
ILUSTRACIÓN 36 - MODELO 3D DEL EDIFICIO	170
ILUSTRACIÓN 37 - DISTRIBUCIÓN DE PLANTA BAJA	171
ILUSTRACIÓN 38 - CONSIDERACIONES PARA LA DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE SEGÚN CTE – ANEJO C	172
ILUSTRACIÓN 39 - DISTRIBUCIÓN DE PLANTAS 1ª A 4ª PARA VIVIENDAS	173
ILUSTRACIÓN 40 - DISTRIBUCIÓN DE CADA VIVIENDA POR ESTANCIAS (VIVIENDA 1)	174
ILUSTRACIÓN 41 - RELACIÓN DE SUPERFICIES ÚTILES Y VOLÚMENES DEL MODELO	175
ILUSTRACIÓN 42 - DISTRIBUCIÓN DE PLANTA NO HABITABLE BAJO CUBIERTA.	176
ILUSTRACIÓN 43 - CERRAMIENTOS DE FACHADA	178
ILUSTRACIÓN 44 - ALZADO DE LA FACHADA SUR	179
ILUSTRACIÓN 45 - ALZADO DE LA FACHADA NORTE	180
ILUSTRACIÓN 46 - CERRAMIENTOS DE MEDIANERA DEL MODELO	181
ILUSTRACIÓN 47 - ALZADO DE LA FACHADA ESTE	182
ILUSTRACIÓN 48 - ALZADO DE LA FACHADA OESTE	183
ILUSTRACIÓN 49 - SUELOS EN CONTACTO CON EL TERRENO	184
ILUSTRACIÓN 50 - RESUMEN DE CUBIERTAS DEL MODELO	184
ILUSTRACIÓN 51 - RESUMEN DE HUECOS DEL MODELO	187
ILUSTRACIÓN 52 - RESUMEN PARTICIONES INTERIORES DISTINTO USO DEL MODELO	190
ILUSTRACIÓN 53 - ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA EN ESPAÑA SEGÚN CTE2019	196
ILUSTRACIÓN 54 – EJEMPLO DE CERRAMIENTO TIPO DE FACHADA SATE DE 7CM	210
ILUSTRACIÓN 55 - CLASIFICACIÓN SEGÚN UNE EN 12207:2000	225
ILUSTRACIÓN 56 - CLASIFICACIÓN SEGÚN. UNE EN 85208:1981	226
ILUSTRACIÓN 57 - PROVINCIAS DE ZONA CLIMÁTICA A SEGÚN CTE2019	236
ILUSTRACIÓN 58 - PROVINCIAS DE ZONA CLIMÁTICA B SEGÚN CTE2019	243
ILUSTRACIÓN 59 - PROVINCIAS DE ZONA CLIMÁTICA C SEGÚN CTE2019	250
ILUSTRACIÓN 60 - PROVINCIAS DE ZONA CLIMÁTICA D SEGÚN CTE2019	257
ILUSTRACIÓN 61 - PROVINCIAS DE ZONA CLIMÁTICA E SEGÚN CTE2019	264

---

---

ILUSTRACIÓN 62 - COMPOSICIÓN EN KG DE ARENA POR M <sup>2</sup> DE FACHADA DE 26CM DE MORTERO. CÁLCULO DEL % EN MASA DE ARENA. _____	279
ILUSTRACIÓN 63 - EJEMPLO DE LADRILLO GERO PERFORADO. _____	280
ILUSTRACIÓN 64 - GRÁFICA DE EVOLUCIÓN DEL PRECIO MEDIO DEL KWh DE DISTINTAS FUENTES DE ENERGÍA EN ESPAÑA (2017-2022) SEGÚN EUROSTAT _____	289
ILUSTRACIÓN 65 – FÓRMULA DE CÁLCULO DEL VAN _____	295
ILUSTRACIÓN 66 - FÓRMULA PARA EL CÁLCULO DEL TIR _____	296
ILUSTRACIÓN 67 - CONDICIONES DE CONTORNO PARA LA PRODUCCIÓN DE 1M <sup>2</sup> DE FACHADA. _____	302
ILUSTRACIÓN 68 - PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE TRITURADO DE HUESO DE OLIVA _____	303
ILUSTRACIÓN 69 - EVOLUCIÓN DE LAS TEMPERATURAS (°C) EN EL INTERIOR DE LAS CELDAS Y EN EL EXTERIOR. _____	322
ILUSTRACIÓN 70 - EVOLUCIÓN DE LAS TEMPERATURAS (°C) EN EL INTERIOR DE LOS MUROS Y EN EL EXTERIOR. _____	324
ILUSTRACIÓN 71 - EVOLUCIÓN DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS ENTRE EL INTERIOR DE CADA CELDA Y EL EXTERIOR (°C). _____	326
ILUSTRACIÓN 72 - VALORES MÁXIMOS (°C) DE LAS TEMPERATURAS INTERIORES (I), EN EL INTERIOR DE LOS MUROS (M), EN EL INTERIOR DE LOS SUELOS (S) Y DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE EL INTERIOR DE CELDA Y EL EXTERIOR (I-E), EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE CAUCHO EN LA MEZCLA. _____	327
ILUSTRACIÓN 73 - PORTADA DE LA PUBLICACIÓN DEL ARTÍCULO EN LA REVISTA “CONSTRUCTION AND BUILDINGS MATERIALS” _____	329
ILUSTRACIÓN 74 - CURVA DE REGRESIÓN POLINÓMICA DE TERCER GRADO CON LOS RESULTADOS _____	332
ILUSTRACIÓN 75 - PLAZO DE RECUPERACIÓN EN AÑOS DE INCORPORACIÓN DE DOPADO DE HUESO DE OLIVA A LADRILLO EN COMPARACIÓN CON COMBUSTIÓN DE BIOMASA _____	348
ILUSTRACIÓN 76 - PORTADA DE LA PUBLICACIÓN DEL ARTÍCULO EN LA REVISTA “BUILDINGS” _____	349
ILUSTRACIÓN 77 - RESULTADOS AMBIENTALES DE 1M <sup>2</sup> DE FACHADA VARIANDO EL PORCENTAJE DE DOPAJE DEL MORTERO EMPLEADO _____	352
ILUSTRACIÓN 78 - COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS DE ADFF Y GWP OBTENIDOS EN EL ESCENARIO SIN CONTABILIZAR LA FASE DE USO Y LOS OBTENIDOS A CONSECUENCIA DEL AHORRO ENERGÉTICO QUE SE PRODUCE POR UTILIZAR LOS LADRILLOS TIPO GERO DOPADOS EN UNA EDIFICACIÓN. _____	356
ILUSTRACIÓN 79 - DIAGRAMA DE VALOR DE LAS DISTINTAS FASES DEL CICLO DE VIDA SOCIAL _____	359
ILUSTRACIÓN 80 - RESULTADOS DEL ACV-S DEL LADRILLO GERO PERFORADO. _____	360
ILUSTRACIÓN 81 - COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS DE ADFF Y GWP OBTENIDOS EN EL ESCENARIO SIN CONTABILIZAR LA FASE DE USO Y LOS OBTENIDOS A CONSECUENCIA DEL AHORRO ENERGÉTICO QUE SE PRODUCE POR UTILIZAR LOS LADRILLOS TIPO GERO DOPADOS EN UNA EDIFICACIÓN. _____	377
ILUSTRACIÓN 82 - DIAGRAMA DE VALOR DE LAS DISTINTAS FASES DEL CICLO DE VIDA SOCIAL _____	379

---

# ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 – VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE DIVERSOS MATERIALES.....	77
TABLA 2 - PRODUCCIÓN MEDIA EN KG POR HECTÁREA DE OLIVAR SEGÚN MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN DEL GOBIERNO (AÑO 2021). .....	81
TABLA 3 - RESUMEN PRODUCCIÓN ANUAL DE OLIVA EN ESPAÑA. 2010-2020.....	82
TABLA 4 - PORCENTAJE DE SUPERFICIE DE OLIVAR EN LAS DISTINTAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS ESPAÑOLAS SOBRE TOTAL SEGÚN MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN DEL GOBIERNO DE ESPAÑA 2021. ....	83
TABLA 5 - PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN DE OLIVA EN LAS DISTINTAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS ESPAÑOLAS SOBRE TOTAL SEGÚN MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN DEL GOBIERNO DE ESPAÑA 2021. ....	84
TABLA 6 - PRODUCCIÓN ANUAL ESTIMADA EN KILOGRAMOS DE HUESO DE OLIVA EN ESPAÑA Y POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS .....	87
TABLA 7 - POTENCIAL DE ENERGÍA ÚTIL TÉRMICA POSIBLE POR COMBUSTIÓN DE TODA LA PRODUCCIÓN ANUAL DE HUESO DE OLIVA EN ESPAÑA.....	89
TABLA 8 - POTENCIAL DE ENERGÍA ÚTIL TÉRMICA POSIBLE POR COMBUSTIÓN DE TODA LA PRODUCCIÓN ANUAL DE HUESO DE OLIVA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS ESPAÑOLAS .....	89
TABLA 9 - POTENCIAL DE COMBUSTIÓN DE HUESO DE OLIVA PARA DEMANDA DE CALEFACCIÓN EN ESPAÑA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS. ....	91
TABLA 10 - COMPOSICIÓN GENERAL DE MATERIALES CEMENTOSOS Y CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO.	120
TABLA 11 - COMPOSICIÓN DE ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN Y SONDAS DE TEMPERATURA.....	124
TABLA 12 - PAUTA DE ENCENDIDO DE LAS FUENTES DE CALOR. ....	126
TABLA 13 - COMPOSICIÓN GENERAL DEL CEMENTO PORTLAND VALDERRIVAS .....	140
TABLA 14 - TIPO Y CANTIDAD DE MATERIAL NECESARIO PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN Y MORTEROS .....	142
TABLA 15 - SUPERFICIE TOTAL DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA DEL EDIFICIO .....	160
TABLA 16 - VALORES DE $\lambda$ PARA EL HORMIGÓN Y EL MORTERO, SEGÚN EL CTE. CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	162
TABLA 17 - PARÁMETROS DE TRABAJO DEL LADRILLO GERO UTILIZADO.....	162
TABLA 18 - CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS UTILIZADAS EN LA SIMULACIÓN .....	163
TABLA 19 - DENSIDADES MEDIAS DE MORTEROS DOPADOS.....	164
TABLA 20 - COMPOSICIÓN DE LOS MORTEROS UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN .....	164
TABLA 21 - CANTIDAD DE HUESO DE OLIVA UTILIZADA POR M <sup>2</sup> DE FACHADA.....	165
TABLA 22 – SUPERFICIE TOTAL DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA DEL EDIFICIO.....	168
TABLA 23 - DISTRIBUCIÓN INTERIOR (SUPERFICIE EN PLANTA Y DE HUECOS) DE CADA UNA DE LAS VIVIENDAS.....	175
TABLA 24 - SUPERFICIE TOTAL DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA DEL EDIFICIO .....	177

TABLA 25 - RELACIÓN DE HUECOS Y SUPERFICIES DE HUECOS POR FACHADAS .....	186
TABLA 26 - TABLA RESUMEN DE FACHADAS DEL MODELO .....	188
TABLA 27 - RESUMEN DE HUECOS DEL MODELO .....	189
TABLA 28 - VALORES DE PUENTES TÉRMICOS PARA LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA INICIAL.....	192
TABLA 29 - COMPARACIÓN ENTRE MODELOS.....	193
TABLA 30 - DISTINTAS ZONAS CLIMÁTICAS DE CAPITALES DE PROVINCIA SEGÚN CTE2019.....	195
TABLA 31 – EVOLUCIÓN DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS DE LAS CAPITALES DE PROVINCIA EN ESPAÑA.....	197
TABLA 32 – COMBINACIONES DE EVOLUCIÓN DE ZONAS CLIMÁTICAS.....	198
TABLA 33 - CTE2019 – TABLA 3.1.A HE0 VALORES LÍMITE $C_{EP,NREN,LIM}$ PARA USO RESIDENCIAL PRIVADO .....	205
TABLA 34 - CTE2019 – TABLA 3.1.1N – HE1 VALOR LÍMITE $K_{LIM}$ PARA USO RESIDENCIAL PRIVADO .....	206
TABLA 35 - CTE2019 – TABLA 3.1.1.A HE1 VALORES LÍMITE DE TRANSMITANCIA TÉRMICA ( $W/M^2K$ ) PARA ELEMENTOS PARTICULARES .....	207
TABLA 36 - VALORES DE RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES ( $M^2K/W$ ) DE CERRAMIENTO EN CONTACTO CON EL AIRE EXTERIOR ( $R_{SI}$ Y $R_{SE}$ ), SEGÚN CTE 2019. ....	209
TABLA 37 - VALORES DE RESISTENCIA TÉRMICA ( $M^2K/W$ ) PARA CÁMARAS DE AIRE SEGÚN CTE2019.....	209
TABLA 38 - VALORES DE ABSORTIVIDAD EN FUNCIÓN DE LOS COLORES DEL MARCO.....	213
TABLA 39 - VALORES DE $U_s$ ( $W/M^2K$ ) SEGÚN CTE2019 – TABLA 3 HE1.....	215
TABLA 40 - VALORES DE COEFICIENTE REDUCTOR B PARA FORJADO BAJO CUBIERTA NO ACONDICIONADO SEGÚN CTE2019 – TABLA 7 – HE1 .....	217
TABLA 41 - VALORES DE RENOVACIÓN DE AIRE ENTRE ESPACIOS NO HABITABLES Y EL EXTERIOR ( $H^{-1}$ ). CTE2019 – TABLA 8 – HE1.....	218
TABLA 42 - VALORES DE PUENTES TÉRMICOS PARA LA SIMULACIÓN.....	221
TABLA 43 - CTE2019 – TABLA 3.1.2 – HE1. VALOR LÍMITE DEL PARÁMETRO DE CONTROL SOLAR $Q_{SOL,JUL,LIM}$ ( $KWH/M^2-MES$ ) .....	222
TABLA 44 - CTE2019 – TABLA 3.1.3.A – HE1 - VALOR LÍMITE DE PERMEABILIDAD AL AIRE DE HUECOS DE ENVOLVENTE TÉRMICA $Q_{100,LIM}$ ( $M^3/H \cdot M^2$ ).....	223
TABLA 45 - CTE2019 – TABLA 3.1.3B – HE1. VALOR LÍMITE DE PERMEABILIDAD $N50(H^{-1})$ .....	227
TABLA 46 - CTE2019 – TABLA 3.2 – HE1. TRANSMITANCIA TÉRMICA LÍMITE DE PARTICIONES INTERIORES $U_{LIM}$ ( $W/M^2K$ )	228
TABLA 47 - MODELIZACIONES CTE PARA 28 LOCALIZACIONES .....	229
TABLA 48 - RESULTADOS MEDIOS 3 LOCALIDADES DE ZONA CLIMÁTICA A.....	230
TABLA 49 - RESULTADOS MEDIOS 3 LOCALIDADES DE ZONA CLIMÁTICA B.....	230
TABLA 50 - RESULTADOS MEDIOS 7 LOCALIDADES DE ZONA CLIMÁTICA C.....	230
TABLA 51 - RESULTADOS MEDIOS DE 13 LOCALIDADES DE ZONA CLIMÁTICA D.....	231
TABLA 52 - RESULTADOS MEDIOS DE 1 LOCALIDAD DE ZONA CLIMÁTICA E.....	231
TABLA 53 - RESULTADOS MEDIOS DE 1 LOCALIDAD DE ZONA CLIMÁTICA A.....	231

TABLA 54 - COEFICIENTES DE PUENTES TÉRMICOS UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA.....	235
TABLA 55 - COMPOSICIÓN DE LOS MORTEROS DOPADOS.....	273
TABLA 56 - CANTIDAD DE KG DE HUESO DE OLIVA POR M <sup>2</sup> DE FACHADA MACIZA (3CM) Y FACHADA PERFORADA (23CM) .....	274
TABLA 57 - TIPO Y CANTIDAD DE MATERIAL NECESARIO PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN Y MORTEROS. ....	278
TABLA 58 - COMPOSICIÓN EN KG DE HUESO DE OLIVA POR M <sup>2</sup> DE FACHADA DE 26CM DE MORTERO .....	278
TABLA 59 - CANTIDAD DE ARENA Y HUESO DE OLIVA NECESARIA PARA LA ELABORACIÓN DE 1M <sup>3</sup> DE MORTERO SIN DOPAR Y DOPADO AL 0%, 5%, 10% Y 15%. ....	279
TABLA 60 - AUMENTO DE PRECIO POR M <sup>3</sup> DE MORTERO DOPADO CON RESPECTO AL MORTERO SIN DOPAR.....	280
TABLA 61 - AHORRO ENERGÉTICO MEDIO POR M <sup>2</sup> DE FACHADA POR INCORPORACIÓN DE DOPADO DE HUESO DE OLIVA. ....	282
TABLA 62 - AHORRO ENERGÉTICO POR M <sup>2</sup> DE FACHADA Y AÑO EN FUNCIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN Y SU COEFICIENTE ESTACIONARIO.....	286
TABLA 63 - PROMEDIADO DE INCREMENTO DE COSTES EN FABRICACIÓN DE FACHADA DE DOS HOJAS DE LADRILLO GERO PERFORADO (23CM) Y CAPA EN MORTERO EXTERIOR (3CM) .....	287
TABLA 64 - PRECIO DEL kWh PROCEDENTE DE DISTINTAS FUENTES DE ENERGÍA PUBLICADOS POR EUROSTAT .....	288
TABLA 65 - INVENTARIO DE LAS ALTERNATIVAS DE MORTEROS QUE COMPONEN 1M <sup>2</sup> DE FACHADA. ....	304
TABLA 66 - VARIABLE TRANSPORTE DE LAS MATERIAS PRIMAS NECESARIAS PARA LA CREACIÓN DE 1M <sup>2</sup> DE FACHADA.....	306
TABLA 67 - INVENTARIO PARA LA FABRICACIÓN DE 80 LADRILLOS (1M <sup>2</sup> DE FACHADA).....	307
TABLA 68 - INDICADORES DE IMPACTO EN LA METODOLOGÍA DE DECLARACIÓN AMBIENTAL DEL PRODUCTO (EPD).....	310
TABLA 69 - CATEGORÍA TRABAJADORES Y SUBCATEGORÍAS ASOCIADAS SEGÚN METODOLOGÍA UNEP/SETAC [83] .....	315
TABLA 70 - CATEGORÍA CONSUMIDORES Y SUBCATEGORÍAS ASOCIADAS SEGÚN METODOLOGÍA UNEP/SETAC [83].....	315
TABLA 71 - CATEGORÍA COMUNIDAD LOCAL Y SUBCATEGORÍAS ASOCIADAS SEGÚN METODOLOGÍA UNEP/SETAC [83] .....	315
TABLA 72 - CATEGORÍA SOCIEDAD Y SUBCATEGORÍAS ASOCIADAS SEGÚN METODOLOGÍA UNEP/SETAC [83] .....	315
TABLA 73 - CATEGORÍA CADENA DE VALOR Y SUBCATEGORÍAS ASOCIADAS SEGÚN METODOLOGÍA UNEP/SETAC [83].....	316
TABLA 74 - AGENTES IMPLICADOS SEGÚN LA METODOLOGÍA UNEP/SETAC. ....	317
TABLA 75 - INVENTARIO DE CICLO DE VIDA SOCIAL (ACV-S) CON PUNTUACIÓN. ....	319
TABLA 76 - RESULTADOS DE LOS CONOS DE ABRAMS REALIZADOS A LAS DISTINTAS AMASADAS.....	330
TABLA 77 - VALORES OBTENIDOS DE CONDUCTIVIDAD $\lambda_{10}$ PARA LOS DISTINTOS CEMENTOS Y DOPAJES. ....	331
TABLA 78 - RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS DE LA ECUACIÓN POLINÓMICA PARA $\lambda_{10}$ Y % DE REDUCCIÓN SOBRE MORTERO SIN DOPAR .....	334
TABLA 79 - RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA HULC EN ALMERÍA (ZONA A) .....	335
TABLA 80 - PERIODOS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA EN ALMERÍA (ZONA A).....	336
TABLA 81 - RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA HULC EN SEVILLA (ZONA B) .....	337
TABLA 82 - PERIODOS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA EN SEVILLA (ZONA B) .....	338
TABLA 83 - RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA HULC EN BARCELONA (ZONA C).....	339
TABLA 84 - PERIODOS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA EN BARCELONA (ZONA C).....	340

---

TABLA 85 - RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA HULC EN LOGROÑO (ZONA D).....	341
TABLA 86 - PERIODOS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA EN LOGROÑO (ZONA D).....	342
TABLA 87 - RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA HULC EN SORIA (ZONA E).....	343
TABLA 88 - PERIODOS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA EN SORIA (ZONA E).....	344
TABLA 89 - AHORRO ENERGÉTICO ANUAL TOTAL (988,52M <sup>2</sup> DE FACHADA) POR INCORPORACIÓN DE DOPADO DE HUESO DE OLIVA POR ZONAS CLIMÁTICAS .....	345
TABLA 90 - AHORRO ENERGÉTICO MEDIO EN DEMANDA CONJUNTA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN POR M <sup>2</sup> DE FACHADA (kWh/M <sup>2</sup> Y AÑO) POR INCORPORACIÓN DE DOPADO DE HUESO DE OLIVA.....	346
TABLA 91 - ENERGÍA ÚTIL EQUIVALENTE POR COMBUSTIÓN DE TRITURADO DE HUESO DE OLIVA.....	347
TABLA 92 - RESULTADOS ANÁLISIS ECONÓMICO CON MORTERO DOPADO AL 5% .....	351
TABLA 93 - RESULTADOS ANÁLISIS ECONÓMICO CON MORTERO DOPADO AL 10% .....	351
TABLA 94 - RESULTADOS ANÁLISIS ECONÓMICO CON MORTERO DOPADO AL 15% .....	351
TABLA 95 - AHORRO ENERGÉTICO DE LA UTILIZACIÓN DEL HUESILLO DE OLIVA EN FACHADAS. ....	354
TABLA 96 - RESULTADOS DE AHORROS ENERGÉTICOS POR M <sup>2</sup> DE FACHADA EN FUNCIÓN DE SU PORCENTAJE DE DOPADO.....	355
TABLA 97 - RESULTADOS PONDERADOS POR FASE DE CICLO DE VIDA Y GRUPO DE ESTUDIO.....	361
TABLA 98 - TABLA RESUMEN DE $\Lambda_{10}$ CALCULADOS Y % DE REDUCCIÓN DE CONDUCTIVIDAD SOBRE MORTERO SIN DOPAR.....	367
TABLA 99 - AHORRO ENERGÉTICO ANUAL TOTAL (988.52M <sup>2</sup> DE FACHADA) POR INCORPORACIÓN DE DOPADO DE HUESO DE OLIVA POR ZONAS CLIMÁTICAS .....	370
TABLA 100 - AHORRO ENERGÉTICO MEDIO POR M <sup>2</sup> DE FACHADA POR INCORPORACIÓN DE DOPADO DE HUESO DE OLIVA .....	371
TABLA 101 - RESUMEN DE AÑOS DE RECUPERACIÓN EN DISTINTAS ZONAS CLIMÁTICAS .....	372
TABLA 102 - RESULTADOS ANÁLISIS ECONÓMICO CON MORTERO DOPADO.....	374



---

# INTRODUCCIÓN

## 1. INTRODUCCIÓN

El reciclado de residuos y la reducción del consumo de combustibles fósiles son considerados como estrategias fundamentales en la mitigación de los impactos adversos del cambio climático tal y como se explicita en el Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas [4].

La gestión inadecuada en el pasado de residuos generados por múltiples y diversas actividades humanas ha llevado, en muchos casos, a su eliminación en vertederos sin ningún tratamiento previo.

Sin embargo, actualmente, en un esfuerzo global por minimizar la generación de residuos y optimizar el uso de recursos, se han desarrollado numerosos procesos industriales para reintegrar estos residuos y subproductos en un enfoque conocido como economía circular y en el que España, como todos los países de la Unión Europea, ha desarrollado su particular estrategia con horizonte el año 2030 [5].

Esta iniciativa, la economía circular, busca fomentar la reutilización, el reciclaje y la recuperación de materiales para cerrar los ciclos de producción y reducir la dependencia de recursos naturales limitados.

La implementación de la economía circular en diversos sectores industriales puede contribuir significativamente a la sostenibilidad energética, económica, ambiental y social y al logro de los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El sector de la construcción es un escenario ideal para aplicar estas tendencias. Cada vez es más común el uso de materiales que contienen una proporción significativa de residuos provenientes de otros procesos, incluso de sectores no relacionados, pero cuya incorporación mejora ciertas propiedades del producto final.

Esta práctica no solo contribuye a la reducción de residuos, sino que también ofrece beneficios adicionales ya que, en algunos casos, pueden mejorar las características principales de los materiales utilizados en la construcción.

Así, la incorporación de estos materiales reciclados puede mejorar la resistencia, durabilidad, aislamiento térmico o acústico, entre otras propiedades, de los productos finales utilizados en la industria de la construcción.

En agregado, esta estrategia de recuperación parcial de residuos en formato material de construcción fomenta la economía circular ya que permite cerrar el ciclo de vida de los materiales y reducir la dependencia de recursos naturales vírgenes.

En última instancia, la adopción de estos enfoques en el sector de la construcción puede ayudar a mitigar los impactos ambientales asociados con la extracción y producción de materiales tradicionales y mejorar su viabilidad social, promoviendo la sostenibilidad en el sector.

Tanto el mortero como el hormigón son, en la actualidad, dos de los materiales de construcción más relevantes, gracias a sus propiedades mecánicas, durabilidad, capacidad de moldeo y amplia disponibilidad.

Del hormigón, por ejemplo, se estima que su producción anual supera los diez mil millones de toneladas [6]. Esta cifra refleja la alta demanda y utilización de hormigón en diversos proyectos de construcción a nivel global mundial.

El hormigón destaca por su excelente resistencia a la compresión, lo que lo hace adecuado para soportar cargas estructurales significativas. Además, su durabilidad le permite mantener sus propiedades a lo largo del tiempo, resistiendo condiciones ambientales adversas y minimizando el mantenimiento requerido. La versatilidad del hormigón para ser moldeado en diferentes formas y tamaños facilita, además, su aplicación en una amplia gama de estructuras y elementos arquitectónicos. Por último, la disponibilidad de sus componentes, como el cemento, los áridos y el agua, permite su producción a gran escala y su uso generalizado en la industria de la construcción.

Por otro lado, la amplia utilización del hormigón conlleva una serie de desafíos que resultan en un significativo impacto ambiental y social. Por ejemplo, la industria del cemento, principal componente del hormigón, se estima que es responsable de aproximadamente el 7% de la generación anual de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) [7]. Este gas de efecto invernadero es uno de los principales contribuyentes al cambio climático.

Esto se debe a que en la producción de cemento [8] se libera CO<sub>2</sub> durante el proceso de calcinación, donde la piedra caliza es sometida a altas temperaturas para obtener el clinker de cemento. Asimismo, la extracción de materiales necesarios para la producción de hormigón, como los agregados pétreos, también puede implicar la degradación de ecosistemas naturales y la pérdida de biodiversidad. Además, la gran cantidad de hormigón utilizado en proyectos de construcción conlleva la necesidad de recursos naturales significativos, como áridos y agua, así como energía para su transporte y

colocación. Todo esto contribuye al agotamiento de recursos naturales no renovables y aumenta la huella de carbono ambiental asociada a la producción y uso del hormigón.

En consecuencia y por todo esto que se acaba de citar, es crucial abordar este desafío ambiental y buscar alternativas sostenibles que reduzcan el enorme impacto ambiental de la industria del mortero y hormigón, como el desarrollo de nuevos materiales más ecoeficientes y la implementación de prácticas de construcción más sostenibles.

Sin duda, la sustitución progresiva del árido que compone tanto el mortero como el hormigón por materiales reciclados en su fabricación puede propiciar una reducción significativa del impacto ambiental mencionado anteriormente.

Ya son muchos los estudios que han demostrado la viabilidad de reemplazar ciertos agregados naturales por residuos de hormigón, provenientes de demoliciones o subproductos de la industria del hormigón [9].

La utilización de estos materiales reciclados en la producción de hormigón ofrece múltiples beneficios.

En primer lugar, reduce la necesidad de extraer y procesar nuevos recursos naturales, lo que ayuda a conservar los ecosistemas naturales y reduce la degradación ambiental asociada con la extracción de áridos pétreos.

Además, la incorporación de residuos en la fabricación de hormigón o mortero dopado ayuda a reducir la cantidad de residuos que terminan en vertederos, lo que contribuye también a la gestión más sostenible de los desechos de construcción y demolición.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que la sustitución del cemento por materiales reciclados en el hormigón requiere una adecuada evaluación técnica para garantizar la calidad y resistencia del material resultante, pero, con un diseño y control adecuados, se ha demostrado que es factible y efectivo incorporar estos materiales reciclados en la producción de hormigón, lo que contribuye a una mayor sostenibilidad ambiental en la industria de la construcción.

Específicamente, las composiciones de hormigón que contienen materiales reciclados pueden exhibir una mejor capacidad de aislamiento térmico. Esto es de particular relevancia, dado que las regulaciones europeas establecen condiciones de protección térmica para los edificios con un consumo energético razonable (como el Código técnico de la Edificación en España [10] y la última Directiva Europea de Eficiencia

Energética en la edificación [11]), con el objetivo de garantizar el confort interior y minimizar los costos energéticos y de operación [12].

Esta última es la línea fundamental de la presente investigación.

El aislamiento térmico es una propiedad importante en la construcción, ya que afecta directamente a la eficiencia energética de los edificios.

El dopado de algunos de los materiales reciclados en la fabricación del mortero y hormigón puede proporcionar una mayor resistencia térmica, lo que reduce la transferencia de calor a través de las paredes y los elementos estructurales del edificio.

Esto contribuye a mantener una temperatura interior más constante y a reducir el uso de sistemas de calefacción o refrigeración, lo que a su vez reduce el consumo de energía.

Es evidente y fundamental tener en cuenta en este punto que la capacidad de aislamiento térmico del hormigón o mortero dopado puede variar dependiendo de los materiales utilizados en su fabricación y de la proporción en la mezcla.

Es por esta razón necesario realizar estudios y pruebas que permitan evaluar y optimizar la composición del hormigón o mortero reciclado con el fin de obtener los mejores resultados en términos de aislamiento térmico, a la vez que también se mantengan ciertas prestaciones mecánicas y de durabilidad.

Entre todos estos estudios necesarios uno de los más importantes es la evaluación del parámetro de transmitancia térmica de los cerramientos que componen la envolvente de un edificio.

La transmitancia térmica, también conocida como coeficiente de transferencia de calor, es una medida de la cantidad de calor que se transfiere a través de un sistema constructivo. Un valor más bajo de transmitancia térmica indica una mejor capacidad de aislamiento térmico y, por lo tanto, una menor pérdida de calor a través de los elementos constructivos del edificio.

Los requisitos normativos relacionados con la transmitancia térmica se han vuelto cada vez más estrictos en la legislación aplicable en la mayoría de los países de la Unión Europea y, por extensión, en España [10].

La reducción de los requisitos de transmitancia térmica en la legislación tiene como objetivo mejorar la eficiencia energética de los edificios y reducir su demanda de energía para calefacción y refrigeración. Esto se alinea con los esfuerzos por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático.

La Unión Europea ha establecido directivas y regulaciones, como la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios [11], que establecen estándares y requisitos mínimos de eficiencia energética para los edificios nuevos y existentes [13]. En España, se ha regulado a través del Código Técnico de la Edificación [10].

Estos requisitos incluyen valores máximos para la transmitancia térmica de los principales elementos constructivos, como paredes, techos y ventanas.

A lo largo del tiempo, estos valores límite se han vuelto cada vez más estrictos, lo que implica la necesidad de utilizar materiales y técnicas constructivas que ofrezcan un mejor rendimiento en términos de aislamiento térmico.

La utilización de mortero y hormigón con materiales reciclados puede ser una opción viable para cumplir con estos requisitos normativos más exigentes, ya que algunos de estos materiales reciclados pueden ofrecer propiedades de aislamiento térmico favorables.

En los últimos años, se han llevado a cabo diversos experimentos y estudios para reciclar una amplia gama de materiales en la composición del hormigón, con el objetivo de mejorar su comportamiento térmico. Entre estos materiales se incluyen plásticos de diferentes procedencias y composiciones [14], [15].

En esta tesis se plantea la utilización práctica de dos tipos de residuos:

- Caucho de neumáticos fuera de uso
- Hueso de oliva

## 1.1. CAUCHO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO

Uno de los residuos que se puede utilizar como aditivo en la producción de mortero y hormigón es el caucho de neumáticos.

Los neumáticos fuera de uso (NFU) son un tipo de residuo común y problemático debido a su composición que incluye caucho y acero.

Sin embargo, es posible procesar industrialmente estos residuos y convertirlos en partículas bastante finas que pueden utilizarse posteriormente como aditivos en la producción de mortero y hormigón.

El caucho de neumáticos reciclados ofrece ventajas significativas al mejorar las propiedades del cemento y hormigón, como la resistencia al impacto, la durabilidad y la flexibilidad [16].

En primer lugar, mejora la resistencia al impacto de estos materiales, lo que puede resultar en una mayor durabilidad y vida útil de las estructuras construidas con ellos.

Además, el caucho reciclado confiere mayor flexibilidad al cemento y hormigón, lo que los hace menos propensos a fisuras y daños causados por movimientos estructurales o cambios de temperatura.

Otro beneficio importante del uso de caucho de neumáticos reciclados es la reducción de la cantidad de residuos que terminan en vertederos. Los neumáticos desechados representan un problema ambiental significativo debido a su lenta descomposición y volumen ocupado. Al reciclar y utilizar el caucho de neumáticos en la producción de mortero y hormigón, se evita que estos residuos lleguen a los vertederos y se aprovecha su valor como recurso.

Además, el uso de caucho de neumáticos reciclados en la producción de mortero y hormigón reduce la dependencia de los recursos naturales como los áridos necesarios para su fabricación.

Dada la naturaleza masiva y global del residuo (que se encuentra en todos los vehículos del planeta) estudios de algunos fabricantes europeos de neumáticos estimaron en 2013 que se habían alcanzado los 2,9 millones de toneladas de neumáticos fuera de uso [17].

La gran cantidad de residuos generados al final de la vida útil de los neumáticos es, por tanto, una preocupación creciente para las autoridades europeas, como se evidencia en las directivas redactadas a lo largo de la última década [18].

Estas directivas han establecido objetivos claros para la gestión de los neumáticos usados, fomentando la recogida, el reciclaje y la recuperación de estos. Se han establecido sistemas de recolección y tratamiento de neumáticos usados, así como la promoción de la reutilización y el reciclaje de los materiales de los neumáticos.

Además, se han implementado medidas para regular la eliminación adecuada de los neumáticos, evitando su disposición en vertederos o su abandono en entornos naturales. Por supuesto, esto incluye también la prohibición de prácticas inapropiadas, como la quema de neumáticos o su uso en aplicaciones no adecuadas.

En paralelo se ha promovido la investigación y el desarrollo de tecnologías y procesos de reciclaje más eficientes y sostenibles para los neumáticos usados. Se han establecido estándares y requisitos para garantizar la calidad de los productos reciclados derivados

de los neumáticos, así como para fomentar su utilización en diferentes sectores industriales.

La aplicación consecuente de las normas desarrolladas en los diferentes países ha logrado un considerable éxito en la gestión de neumáticos usados en Europa. En 2014, se alcanzó una tasa de recuperación del 96% de los neumáticos en toda la Unión Europea. Se estima que aproximadamente el 35% de la materia recuperada sufre un proceso de granulado [17].

El proceso de granulado es una etapa importante en el reciclaje de neumáticos. Consiste en desmenuzar los neumáticos usados en partículas más pequeñas, conocidas como gránulos de caucho.

La trituración del material de los neumáticos usados no solo contribuye a su recuperación, sino que también reduce el volumen del residuo, lo que facilita su almacenamiento y transporte. La aplicación de diferentes técnicas de triturado permite obtener diferentes tamaños de partículas, siendo la fracción entre 2 mm y 4 mm la más utilizada en la mayoría de las aplicaciones [19]. Esta gama de tamaño de partícula es versátil y se adapta a diferentes usos.

Estos gránulos de caucho reciclado se pueden utilizar como materia prima en la fabricación de diversos productos, como pavimentos deportivos, suelos de seguridad para parques infantiles y relleno de campos de césped artificial, entre otros.

Sin embargo, es importante seguir trabajando en la mejora continua de los procesos de reciclaje y en la búsqueda de aplicaciones innovadoras para los materiales reciclados de los neumáticos, con el objetivo de maximizar el valor obtenido de estos residuos y reducir aún más su impacto ambiental.

En el presente documento se utiliza este caucho para determinar la mejora de la propiedad de aislamiento térmico derivado del dopado del mortero y hormigón con un porcentaje de este residuo.

## 1.2. TRITURADO DE HUESO DE OLIVA

Otro residuo (o subproducto en este caso) que se puede utilizar como aditivo en la producción de mortero y hormigón es el triturado de hueso de oliva (GOS en su acrónimo en inglés).

Los huesos de oliva, como subproducto de la industria del aceite de oliva, se generan en grandes cantidades en los países productores de olivas que se sitúan fundamentalmente a orillas del mar Mediterráneo (España es uno de los principales).

Estos residuos poseen un alto contenido de carbonato cálcico y sílice, lo que los convierte en un material adecuado para su trituración y posterior uso como aditivo en la producción de mortero y hormigón y otros derivados materiales de construcción, de manera similar a lo planteado anteriormente con el residuo de neumático.

La utilización de huesos de oliva triturados como aditivo en la producción de mortero y hormigón en sustitución parcial de los áridos que lo componen ofrece varias ventajas.

En primer lugar, reduce la cantidad de residuos generados por la industria del aceite de oliva, proporcionando una vía de valorización para estos subproductos. En este sentido el uso de triturado de hueso de oliva reciclado en la producción de mortero y hormigón minimiza la cantidad de residuos que se envían a los vertederos y reduce la dependencia de los recursos naturales en la obtención de áridos. También es cierto que en la actualidad ya existe un aprovechamiento habitual y mayoritario de este residuo mediante su incineración en calderas de biomasa para obtención de energía térmica.

Por otro lado, el uso de triturado de huesos de oliva en la producción de mortero y hormigón puede contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Al utilizar huesos de oliva reciclados como aditivo en la producción de cemento y hormigón, se evita la liberación de carbono almacenado en estos residuos a través de otros métodos de eliminación, como la citada combustión en calderas.

Cabe destacar que el impacto real en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero depende de varios factores, como la proporción de huesos de oliva utilizados en la mezcla, la composición de otros materiales y el proceso de fabricación en sí.

Además, es importante considerar el ciclo de vida completo de los materiales de construcción, desde la extracción y producción de los recursos hasta su uso y eventual disposición.

En cualquier caso, la utilización de triturado de huesos de oliva reciclados en la producción de mortero y hormigón puede ser una estrategia prometedora para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir a la sostenibilidad ambiental en el sector de la construcción.

En esta investigación se evalúa la viabilidad del uso de triturado de hueso de oliva como material de construcción para mejorar el aislamiento térmico en edificios y concretamente en ladrillos GERO.

Se analiza la conductividad térmica de los morteros dopados con diferentes porcentajes de triturado de huesillo de oliva, mediante la elaboración de probetas de mortero con un porcentaje variable de triturado de huesillo de oliva (0% a 30%) y se someten a pruebas de conductividad térmica según la norma UNE-EN 12939:2001.

Los resultados obtenidos se procesan y se establece una ecuación de regresión polinómica para determinar un modelo matemático que determine la conductividad térmica en función del porcentaje de huesillo de oliva.

Además, se simula el efecto de este material en un caso de estudio de un edificio residencial construido en España para evaluar el potencial ahorro energético en calefacción y refrigeración gracias a la mejora del aislamiento térmico de la fachada.

Finalmente, se compara este ahorro energético con la energía térmica generada por la combustión del hueso de oliva triturado en una caldera de biomasa (con rendimiento medio estacional del 75%) con el objetivo de conocer el tiempo necesario en años para rentabilizar su aplicación en construcción en sustitución de la aplicación tradicional de combustión.

En conclusión, este trabajo demuestra la posibilidad de utilizar huesillo de oliva como sustituto de los áridos empleados en los ladrillos de mortero tipo GERO para mejorar el aislamiento térmico en la construcción de edificios residenciales.

El uso de este subproducto residual en la construcción puede contribuir a reducir la cantidad de residuos, reducir la conductividad térmica del producto mezclado, mejorar el aislamiento al intercambio de calor y, por extensión, mejorar la eficiencia energética y reducir la demanda de energía en los edificios construidos con este material.

Justificada la sostenibilidad y viabilidad energética de la adición de hueso de oliva al mortero de cemento, este trabajo tiene como objetivo final analizar el impacto económico, ambiental y social del uso de triturado de hueso de oliva como adición en la fabricación de ladrillos tipo GERO de mortero en un porcentaje entre el 5% y el 15% en volumen para su uso en la construcción de edificios (el resto de dopados entre el 20% y el 30% queda descartado por su inviabilidad mecánica y energética) en España, con un enfoque especial en la región de Andalucía, donde se disponen grandes cantidades de residuos de oliva.

En el análisis económico, se muestra cómo el uso de triturado de hueso de oliva utilizado para reemplazar parcialmente la arena en el mortero puede generar ahorros significativos y rentabilidades económicas a medio plazo, ya que reduce el consumo de energía convencional en las instalaciones de calefacción y climatización.

En el análisis de ciclo de vida ambiental se muestra que el uso del triturado de hueso de oliva en ladrillos perforados de tipo GERO reducen también los impactos medioambientales a medio plazo. Los mejores resultados se demuestran para un periodo de uso de 35 años en una edificación.

Por último, en el análisis de ciclo de vida social [20] se destaca que el uso de triturado de hueso de oliva en la construcción puede tener un impacto positivo en las comunidades locales, al generar empleo y mejorar la calidad de vida de las personas involucradas en la recolección y procesamiento de los residuos de oliva. Además, se considera que el uso de materiales de construcción sostenibles puede mejorar la imagen pública de las empresas de construcción y promover una mayor conciencia ambiental entre los consumidores.

En conclusión, el uso de triturado de hueso de oliva como adición al ladrillo de mortero puede tener un impacto positivo en la economía y en la sociedad y representa una alternativa sostenible y rentable para la industria de la construcción.



---

## **OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

## 1. OBJETIVOS

En el presente documento de tesis se aborda el tema del reciclaje de residuos a través de su incorporación como sustituto del árido en la fabricación de morteros y hormigones.

Se trata de una materia que ha adquirido una creciente importancia debido a la preocupación por el medio ambiente y la necesidad de reducir la cantidad de desechos generados.

Se analiza el estado actual de esta práctica, así como se profundiza en el concepto de economía circular, que promueve un enfoque sostenible en la producción y consumo.

En particular, se investiga la capacidad de ciertos residuos, como el caucho de neumáticos fuera de uso (NFU) y el triturado de hueso de oliva (GOS), para reducir la conductividad térmica cuando se mezclan con cemento en la fabricación de morteros y hormigones en sustitución de los clásicos áridos que lo componen.

Una vez determinada (residuos de neumáticos fuera de uso) y cuantificada (residuos de triturado de hueso de oliva) esta reducción de conductividad térmica, estos residuos se estudian con relación a su viabilidad y sostenibilidad energética, económica, ambiental y social como adiciones al mortero de cemento, con el objetivo de fabricar ladrillos tipo GERO que puedan ser utilizados en la construcción de edificios residenciales nuevos en España.

El análisis, por tanto, se centra en evaluar el potencial de estos residuos para mejorar las propiedades térmicas del mortero de cemento, lo que puede resultar en una mayor eficiencia energética en los edificios construidos con estos ladrillos.

Asimismo, se lleva a cabo un estudio exhaustivo de los aspectos económicos, ambientales y sociales relacionados con la incorporación de estos residuos, considerando los costos de producción, la reducción de desechos y las posibles implicaciones sociales.

Para ello, se examina la aceptación y percepción social de esta práctica, así como los posibles beneficios sociales que podrían derivarse de la adopción de materiales de construcción más sostenibles.

En resumen, este trabajo se propone estudiar en profundidad el reciclaje de residuos, centrándose en el concepto de economía circular y en la reducción de conductividad

térmica a través del uso de residuos como el caucho procedente de los neumáticos fuera de uso (NFU) y el triturado de hueso de oliva en la fabricación de ladrillos tipo GERO.

Se analiza su sostenibilidad desde diferentes perspectivas, incluyendo la energética, económica, ambiental y social, con el objetivo de proporcionar un enfoque integral sobre el tema y contribuir al conocimiento en el campo de la construcción sostenible.

## 2. HIPÓTESIS

La hipótesis fundamental de esta tesis se centra en el desarrollo de una metodología para la evaluación de la sostenibilidad (viabilidad energética, económica, ambiental y social) de utilizar ladrillos de mortero tipo GERO en la construcción de nuevos edificios residenciales en España que incorporan una adición de triturado hueso de oliva (en volúmenes que oscilan entre el 5% y el 15%) como reemplazo del árido convencional.

La viabilidad energética se refiere a la capacidad de estos ladrillos dopados [21] con triturado de hueso de oliva para reducir la demanda energética de los edificios, debido a la mejora de las propiedades térmicas favorables que se espera obtener (en especial el parámetro de conductividad térmica).

Se explora el impacto en el consumo de energía para satisfacer la demanda conjunta de calefacción y refrigeración (climatización) manteniendo su confort térmico de los edificios construidos con estos ladrillos dopados, comparándolos con los ladrillos convencionales.

En cuanto a la viabilidad económica, se analizan los costos asociados con la producción y utilización de los ladrillos de mortero con adición de triturado de hueso de oliva en comparación con los ladrillos convencionales. Se evalúan los plazos de amortización de la inversión inicial (el triturado de hueso de oliva tiene un coste más alto que los áridos) a través de la recuperación económica futura relativa a la reducción de las facturas de suministros energéticos.

También se analiza el potencial de estos ladrillos para promover la economía circular y el uso eficiente de recursos naturales, así como la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en su ciclo de vida ambiental.

Finalmente, la viabilidad social se centrará en la aceptación y percepción de estos ladrillos por parte de la comunidad y los actores involucrados en el sector de la construcción.

Se exploran los beneficios sociales que pueden derivarse de la utilización de estos ladrillos, como la creación de empleo local, el fomento de prácticas sostenibles y la promoción de la conciencia ambiental.

En conjunto, esta tesis busca demostrar la sostenibilidad energética, económica, ambiental y social de la utilización de ladrillos de mortero con dopado de triturado de hueso de oliva en sustitución de los ladrillos convencionales en la construcción de nuevos edificios residenciales en España.

Los resultados obtenidos deben contribuir a generar conocimiento en el campo de la construcción sostenible y proporcionan información relevante para la toma de decisiones en la industria de la construcción.



---

**ESTADO DEL ARTE DEL  
RECICLADO DE RESIDUOS,  
ECONOMÍA CIRCULAR,  
DESARROLLO SOSTENIBLE Y  
DOPADO DE MATERIALES DE  
CONSTRUCCIÓN CON RESIDUOS**

## 1. RECICLADO DE RESIDUOS

El reciclado de residuos es una práctica cada vez más extendida en la sociedad actual, ya que ofrece una solución efectiva tanto para reducir la cantidad de residuos generados como minimizar su impacto ambiental asociado.

Además, contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire, ya que se requiere menos energía en comparación con la extracción o producción de nuevos materiales.

Asimismo, el reciclado de residuos también puede generar buenas oportunidades económicas, al fomentar la creación de empleo en la industria del reciclaje y la de la fabricación de productos reciclados.

El uso de materiales reciclados incluso puede resultar en una reducción de costos para las empresas, al disminuir la necesidad de adquirir nuevos materiales.

A través de la recogida selectiva, el procesamiento adecuado y la fabricación de materiales reciclados, se pueden reducir los impactos ambientales negativos actuales que permitan promover una economía circular mucho más sostenible en el futuro.

Para todo esto, el desarrollo de políticas, regulaciones y tecnologías cada vez más exigentes en esta materia es esencial, con el objetivo de fomentar el reciclado de residuos y avanzar hacia una sociedad más sostenible.

Sin embargo, el reciclado de residuos también presenta ciertos desafíos. Por ejemplo, la falta de conciencia y participación de la sociedad, la falta de infraestructuras adecuadas o la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías más eficientes son algunos de los obstáculos a superar.

Es, en este sentido, esencial promover la educación y sensibilización sobre la importancia del reciclado, así como invertir en la mejora de los sistemas de gestión de residuos.

Desde hace varias décadas, hay muchos residuos que tienen ya una cadena de reciclado bastante definida y en perfecto funcionamiento. Entre ellos, se podrían destacar:

- Papel y cartón: Se reciclan para producir nuevos productos de papel y cartón, como papel de impresión, cartón corrugado, papel higiénico...

- Plásticos: Se reciclan para fabricar nuevos productos plásticos, como botellas, envases, utensilios de cocina, productos de limpieza, muebles de jardín, etc.
- Vidrio: Se recicla para producir nuevos envases de vidrio, botellas, frascos, vidrio plano, aislamiento de fibra de vidrio, entre otros.
- Metales: Se reciclan para fabricar nuevos productos de metal, como latas de bebidas, envases metálicos, partes de automóviles, electrodomésticos, herramientas, etc.
- Equipos electrónicos: Se reciclan para recuperar materiales valiosos como metales preciosos, plásticos y vidrio, y reducir la cantidad de residuos electrónicos peligrosos.
- Pilas y baterías: Se reciclan para recuperar metales como el zinc, el hierro, el níquel y el cadmio, y evitar la liberación de sustancias tóxicas al medio ambiente.
- Aceite de cocina: Se recicla para producir biodiesel, productos de limpieza o como materia prima en la industria química.
- Ropa y textiles: Se reciclan para producir nuevos tejidos, productos de limpieza, relleno de almohadas, materiales aislantes, entre otros.
- Madera: Se recicla para producir tableros de partículas, aglomerados, compostaje, biomasa, mobiliario y objetos de madera reciclada.
- Residuos orgánicos: Se compostan para obtener abono natural, utilizado en jardinería y agricultura.
- Envases de tetra-brick: Se reciclan para producir nuevos productos de cartón, como papel higiénico, papel de cocina, cartón corrugado, etc.
- Envases de aerosol: Se reciclan después de eliminar su contenido y se utilizan para fabricar nuevos productos de metal o se recuperan los materiales valiosos que contienen.
- Envases de alimentos: Se reciclan para producir nuevos envases, recipientes de plástico, productos de papel y cartón, entre otros.
- Residuos de construcción y demolición: Se reciclan para producir agregados y materiales de construcción reciclados, como hormigón reciclado, ladrillos, asfalto reciclado, entre otros.

Además, la Unión Europea lleva trabajando en varios paquetes que refuercen el compromiso de los estados miembro en el fortalecimiento de las infraestructuras para reciclado de residuos.

Algunas de las directivas más importantes aprobadas en los últimos años son:

- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos que establece el marco general para la gestión de residuos en la Unión Europea, incluyendo los principios de jerarquía de residuos, prevención, preparación para la reutilización y reciclado.
- Directiva 2018/851/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos que introduce cambios significativos en la legislación sobre residuos, estableciendo nuevos objetivos de reciclado y medidas para fomentar la economía circular [22].
- Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases para prevenir la generación de residuos de envases y promover su reciclado.
- Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de septiembre de 2000, relativa a los vehículos al final de su vida útil: Esta directiva establece medidas para promover el reciclado y la valorización de los vehículos al final de su vida útil, incluyendo la reducción de sustancias peligrosas.
- Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) que establece medidas para el reciclado y tratamiento adecuado de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, incluyendo objetivos de recogida y reciclado.
- Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de septiembre de 2006, sobre pilas y acumuladores y los residuos de pilas y acumuladores que establece medidas para la gestión adecuada de las pilas y acumuladores, incluyendo la promoción del reciclado y la minimización de sustancias peligrosas.
- Directiva (UE) 2018/ del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifican la Directiva 2000/53/CE relativa a los

vehículos al final de su vida útil, la Directiva 2006/66/CE relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores y la Directiva 2012/19/UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos [23].

Es evidente, que la Unión Europea, en este sentido, es líder mundial en cuanto a desarrollo de políticas de reciclaje [24].

## 1.1. RECICLADO DE RESIDUOS COMO AISLAMIENTO TÉRMICO

El reciclado de residuos para su uso como aislamiento térmico es un tema de creciente interés en el campo de la construcción sostenible.

Este enfoque promueve la reutilización de materiales reciclados, reduciendo la dependencia de los recursos naturales y disminuyendo el impacto ambiental asociado con la extracción y producción de materiales convencionales.

Es importante destacar que el uso de materiales reciclados para el aislamiento térmico no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también puede proporcionar beneficios económicos y sociales.

El reciclaje de residuos reduce la cantidad de desechos enviados a los vertederos, promueve la economía circular y puede generar oportunidades de empleo en la industria del reciclaje.

En la actualidad, ya se reciclan algunos productos que provienen de residuos de materiales que de manera habitual se utilizan como aislamiento en la construcción, como, por ejemplo:

- Fibra de celulosa reciclada proveniente de papel y cartón reciclado, es ampliamente utilizada como aislamiento térmico en construcciones. Este material ofrece excelentes propiedades de aislamiento, debido a su baja conductividad térmica y su capacidad para retener el calor. Además, presenta ventajas como su alta resistencia al fuego, su capacidad para absorber y liberar la humedad, y su contribución a la reducción de ruidos.
- Espuma de poliuretano reciclada obtenida a partir de residuos de espumas de poliuretano, es otro material reciclado utilizado como aislamiento térmico. Esta espuma reciclada ofrece una alta eficiencia energética debido a su baja conductividad térmica y su capacidad para sellar herméticamente los espacios, evitando la pérdida de calor. La espuma de

poliuretano reciclada se presenta en paneles rígidos o en forma de espuma pulverizada que se expande y adhiere a las superficies.

- Lana de vidrio reciclada obtenida a partir de residuos de vidrio, es ampliamente utilizada como aislamiento térmico en construcciones. Este material ofrece una excelente capacidad de aislamiento, debido a su estructura fibrosa y a sus propiedades de retención de aire. Además, presenta características como la resistencia al fuego, la absorción acústica y la resistencia a la humedad.
- Perlita reciclada obtenida a partir de residuos de escoria de vidrio, es un material utilizado como aislamiento térmico. La perlita se caracteriza por su baja densidad y su capacidad para retener el aire, lo que contribuye a su eficiencia térmica. Se utiliza en forma de granos sueltos o como agregado en mezclas de mortero o hormigón. La perlita reciclada se emplea en aplicaciones como aislamiento de cubiertas, tejas, pisos y relleno de cavidades.

En paralelo, se está llevando a cabo una intensa investigación sobre el uso de residuos convencionales como aditivo aislante en la fabricación de morteros y hormigones.

Esta innovadora práctica implica reemplazar los áridos tradicionales en la composición de estos materiales por residuos reciclados, con el objetivo de reducir la conductividad térmica y mejorar el comportamiento al aislamiento térmico de uno de los materiales más utilizados en la construcción de edificios.

Estos materiales reciclados procedente de residuos agrarios o industriales pueden, por tanto, mejorar las propiedades térmicas de los morteros y hormigones, contribuyendo a la eficiencia energética de los edificios y fomentando la sostenibilidad en la industria de la construcción.

Al incorporar estos residuos como agregados, se logra no solo aprovechar y dar una segunda vida a los materiales descartados, sino también reducir la extracción de recursos naturales y minimizar el impacto ambiental.

En este sentido, algunos artículos publicados en las principales revistas del ámbito de construcción sostenible ya han consolidado esta teoría inicial.

Una muestra de ellos es:

- Agregados de serrín, plástico y vidrio [25]
- Fibras de cebada [26]

- Cenizas y fibras de hojas de banana [27]
- Cáscara de cacahuete [28]
- Partículas de corcho [29]
- Cenizas de serrín [30]
- Cenizas de bagazo de caña de azúcar [31]
- Cenizas de cáscara de arroz [32]
- Cenizas de oliva [33]

Como ya se ha explicado, el objetivo principal de incorporar residuos al mortero o al hormigón es reducir la conductividad térmica de estos materiales.

La conductividad térmica es una propiedad que indica la capacidad de un material para conducir el calor. Cuanto menor sea la conductividad térmica, mejor será el aislamiento térmico del material.

Al agregar residuos al mortero o al hormigón, se busca modificar su composición y estructura, lo que puede resultar en una reducción de la conductividad térmica [34].

El grado de reducción de la conductividad térmica dependerá de varios factores, como:

- Tipo de residuo utilizado
- proporción en la mezcla
- Distribución de tamaño de partícula.

Estos factores afectarán a la capacidad del material para atrapar y retener el calor, lo que a su vez impactará en la conductividad térmica.

En general, se requiere una evaluación minuciosa de los materiales y proporciones utilizadas, así como pruebas y ensayos de laboratorio para determinar el impacto real en la reducción de la conductividad térmica.

Es importante destacar que los diferentes estudios y pruebas han demostrado resultados variables en términos de reducción de conductividad térmica que oscilan entre el 5% y el 50%, en función de la cantidad y distribución de los agregados utilizados.

En este estudio se realizan ensayos sobre mortero y hormigón utilizando dos tipos de residuos, uno procedente del ámbito industrial y doméstico (neumáticos fuera de uso) y otro del ámbito agrario (triturado de hueso de oliva) para determinar la reducción de conductividad del material resultante.

Sobre este último, dado que se trata de un residuo muy habitual en España se realizará una simulación energética en la que se planteará la sustitución de los productos

habituales en base a ladrillos cerámicos para construcción por un ladrillo compuesto por el material de mortero con unas determinadas cantidades de dopado de hueso de oliva.

## 1.2. RESIDUO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO

Los neumáticos usados (NFU) plantean desafíos importantes en su gestión final debido a su gran volumen y composición (caucho).

Sin embargo, desde hace tiempo se han realizado avances significativos en el desarrollo de técnicas y procesos de reciclaje para aprovechar el valor de los neumáticos usados como recurso reciclable.

El reciclaje de neumáticos es un campo en constante evolución, con continuas investigaciones y desarrollos tecnológicos. Estos avances buscan mejorar la eficiencia de los procesos de reciclaje, así como encontrar nuevas aplicaciones y usos para los materiales reciclados de los neumáticos (carreteras, parques infantiles, campos de fútbol...) [35].

El reciclaje de neumáticos se lleva a cabo mediante diferentes métodos, como la trituración mecánica, el granulado, pirólisis y la regeneración o recauchutado.

Estos procesos permiten obtener diversos productos y materiales que pueden ser utilizados en diferentes aplicaciones.

Uno de los enfoques más habituales en el reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFU) es la obtención de gránulos de caucho reciclado. Estos gránulos se utilizan en la fabricación de nuevos productos, como pavimentos deportivos, alfombras, pisos de seguridad para parques infantiles y mezclas asfálticas modificadas.

El caucho reciclado proveniente de los neumáticos también se puede utilizar como aditivo en la fabricación de hormigones y morteros, mejorando sus propiedades mecánicas y de aislamiento, siendo este el campo de actuación en la investigación.

Además del caucho, otros componentes de los neumáticos, como el acero y las fibras textiles, también pueden ser recuperados y reciclados. El acero se recupera mediante procesos de separación magnética, y se utiliza en la industria del acero como materia prima secundaria. Las fibras textiles se pueden utilizar en la fabricación de materiales de relleno y aislantes.

El reciclaje de neumáticos no solo contribuye a la reducción de residuos y al aprovechamiento de recursos, sino que también tiene beneficios ambientales. Al reciclar los neumáticos, se evita su disposición en vertederos, reduciendo así los problemas asociados, como la ocupación de espacio y el riesgo de incendios. Al reciclar los neumáticos, se evita la liberación de contaminantes al medio ambiente, como gases tóxicos y productos químicos nocivos. Además, se disminuye la necesidad de extraer y utilizar recursos naturales para la fabricación de nuevos productos.

Actualmente, en la Unión Europea se encuentra vigente la Directiva 2018/849/UE [23], también conocida como la Directiva de Neumáticos Fuera de Uso, que es una modificación de la Directiva 2000/53/CE sobre los vehículos al final de su vida útil.

Esta directiva establece disposiciones adicionales para la gestión de los neumáticos fuera de uso con el objetivo de prevenir el abandono ilegal de neumáticos, fomentar la recogida selectiva y mejorar el reciclaje de estos residuos en la Unión Europea.

Algunos puntos clave de la Directiva 2018/849/UE incluyen:

- Prevención del abandono ilegal: Se introducen medidas para prevenir el abandono ilegal de neumáticos y se establecen sanciones para quienes incumplan las normas de gestión de neumáticos fuera de uso.
- Recogida selectiva: Se promueve la recogida selectiva de neumáticos fuera de uso para facilitar su gestión adecuada y asegurar que sean tratados por operadores autorizados.
- Registro de operadores: Se establece la obligación de registrar a los operadores que realizan actividades de recogida, transporte, almacenamiento o tratamiento de neumáticos fuera de uso. Esto permite tener un control más efectivo sobre las operaciones y garantizar la trazabilidad de los residuos.
- Reciclaje y valorización: Se establecen objetivos de reciclaje y valorización más ambiciosos para los neumáticos fuera de uso. Los Estados miembros deben tomar medidas para fomentar el reciclaje y la valorización de los neumáticos, reduciendo así la dependencia de los recursos naturales y promoviendo la economía circular.
- Información y sensibilización: Se requiere que los productores y distribuidores de neumáticos proporcionen información a los consumidores sobre la gestión adecuada de los neumáticos fuera de uso y los puntos de recogida

disponibles. Se promueven campañas de sensibilización para aumentar la conciencia sobre la importancia del reciclaje de neumáticos.

La Directiva 2018/849/UE busca fortalecer la gestión de los neumáticos fuera de uso, con el objetivo de prevenir el abandono ilegal, mejorar la recogida selectiva y promover un mayor reciclaje y valorización de estos residuos en la Unión Europea.

Los Estados miembros de la Unión Europea son los responsables de implementar y hacer cumplir las disposiciones de la directiva, adoptando medidas adecuadas para lograr los objetivos establecidos y garantizar una gestión sostenible de los neumáticos fuera de uso.

En esta tesis se plantea el reciclado de triturado de caucho procedente de neumáticos fuera de uso como sustituto parcial de árido en la fabricación de morteros y hormigones con el objetivo de mejorar las prestaciones de aislamiento térmico del producto resultante sobre el convencional [36].

### 1.3. RESIDUO DE HUESO DE OLIVA

El residuo de hueso de oliva, también conocido como orujo de oliva, es un subproducto generado en la producción de aceite de oliva.

También el residuo de hueso de oliva ha despertado interés debido a su potencial como material reciclado en diversas aplicaciones.

Por un lado, el hueso de oliva se puede utilizar como biomasa para la generación de energía térmica y eléctrica, ya sea directamente en forma de pellets o briquetas, o como combustible en calderas específicas. Sin duda, esta es la aplicación principal en la actualidad y es ciertamente rentable.

Pero, además, el hueso de oliva también se ha investigado como aditivo en la fabricación de materiales de construcción, como el mortero y el hormigón. Su composición rica en carbonato cálcico y sílice le confiere propiedades que pueden mejorar las características físicas y mecánicas de estos materiales. Se valora que la adición de hueso de oliva en el mortero o el hormigón puede aumentar su resistencia, durabilidad y capacidad de aislamiento térmico, siendo este el principal objetivo de la investigación.

Por supuesto que el uso de residuos de hueso de oliva en la construcción y la generación de energía térmica puede tener beneficios significativos desde el punto de vista medioambiental ya que, al utilizar este residuo como material reciclado, se evita su

disposición en vertederos, lo que reduce los problemas asociados con su gestión y el impacto ambiental.

Además, su utilización en lugar de recursos naturales (áridos) puede contribuir a la conservación de estos recursos y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

En esta tesis se realizan ensayos y simulaciones que permiten evaluar su idoneidad, propiedades y comportamiento en diferentes contextos al utilizarlo como sustituto parcial de los áridos que se utilizan en la fabricación de mortero y hormigón.

## 2. ECONOMÍA CIRCULAR

### 2.1. DEFINICIÓN

La economía circular es un concepto que propone un modelo de producción y consumo más sostenible, en el que los residuos se convierten en recursos.

En este modelo, los productos se diseñan de tal forma que puedan ser desmontados y reciclados al final de su vida útil, se fomenta la reparación de productos y se promueve la utilización de materiales y recursos renovables y sostenibles.

Se basa en principios tecnológicos que permitan establecer un ciclo continuo de recursos, donde los productos, componentes y materiales se mantienen en uso durante el mayor tiempo posible.

A diferencia del modelo económico lineal tradicional, que se basa en la extracción de recursos, la producción, el consumo y la eliminación de residuos; la economía circular promueve la reutilización, la reparación, el reciclaje y la regeneración de los recursos existentes.

El objetivo es, por tanto, reducir al mínimo la generación de residuos y maximizar el valor de los materiales y recursos en cada etapa del ciclo de vida de un producto.

Es un modelo que, además, fomenta la colaboración y la creación de redes entre los diferentes actores de la sociedad civil, incluyendo empresas, gobiernos, instituciones académicas, para impulsar una transición inevitable hacia un sistema económico más sostenible.

Al adoptar la economía circular se abren oportunidades para generar empleo, impulsar la innovación y reducir los impactos ambientales negativos [37].

Se estima que esta transición podría generar beneficios económicos significativos, al tiempo que se protege y preserva el medio ambiente.

Por último, la economía circular promueve la resiliencia ante los desafíos de escasez de recursos y volatilidad de precios, al diversificar las fuentes de suministro y promover la eficiencia en el uso de los recursos.

## 2.2. LOS PRINCIPIOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

Los principios de la economía circular son un conjunto de ideas y enfoques que guían la transición desde el modelo tradicional lineal hacia un modelo económico más sostenible y circular.

Se podrían resumir en los siguientes:

- **Diseño regenerativo:** Se busca diseñar productos, servicios y sistemas de manera que sean regenerativos y puedan mantenerse en ciclos de vida continuos. El enfoque está en la durabilidad, la reparabilidad, la facilidad de desmontaje y la capacidad de recuperación de los materiales.
- **Eliminación de residuos:** Se busca reducir al mínimo la generación de residuos a través de la prevención, el diseño de productos y servicios que eviten la obsolescencia y la promoción de la economía del rendimiento, en la que se prioriza el acceso a los servicios en lugar de la propiedad de los productos.
- **Uso eficiente de los recursos:** Se busca optimizar el uso de los recursos naturales, minimizando la extracción y el consumo excesivo. Esto implica medidas como la eficiencia energética, la gestión responsable del agua, el uso de materiales renovables y la promoción de la economía circular en sectores como la construcción y la agricultura.
- **Reutilización y reciclaje:** Se promueve la reutilización de productos y componentes, así como el reciclaje de materiales para su reintroducción en la cadena de valor. Esto implica la implementación de sistemas de recolección y clasificación eficientes, así como el desarrollo de tecnologías de reciclaje avanzadas.
- **Valorización de subproductos y residuos:** Se busca aprovechar al máximo los subproductos y residuos, convirtiéndolos en recursos para otros procesos o industrias. Esto implica el desarrollo de tecnologías de valorización, como la producción de energía a partir de residuos o la transformación de subproductos en materias primas secundarias.
- **Colaboración y participación:** Se fomenta la colaboración entre diferentes actores, como empresas, gobiernos, organizaciones de la sociedad civil y ciudadanos, para promover la transición hacia la economía circular. Esto

implica la creación de alianzas, la compartición de conocimientos y la participación activa de todos los involucrados.

- Enfoque sistémico: La economía circular se aborda desde un enfoque sistémico, reconociendo la interconexión entre los diferentes sectores, procesos y actores. Se busca comprender y abordar los impactos y las interacciones a lo largo de toda la cadena de valor, desde la extracción de materias primas hasta la gestión de residuos.

Estos principios buscan transformar el actual modelo lineal de "tomar, hacer, desechar" en un modelo circular y regenerativo, en el que los recursos se mantengan en uso durante el mayor tiempo posible, creando beneficios económicos, sociales y ambientales.

La aplicación de estos principios implica cambios en las prácticas empresariales, las políticas públicas y los comportamientos individuales, con el objetivo de construir un futuro más sostenible y resiliente.

### 2.3. LAS 7RS EN LA ECONOMÍA CIRCULAR

En la economía circular, se utilizan las definidas como "7 Rs" como una guía para promover prácticas sostenibles y maximizar el ciclo de vida de los productos y materiales.

Estas 7 Rs representan diferentes acciones y enfoques que se pueden aplicar para fomentar la economía circular.

A continuación, se presentan las 7 Rs en la economía circular:

- Repensar: Consiste en repensar el diseño de productos y servicios, considerando aspectos como la durabilidad, la reparabilidad, la facilidad de desmontaje y la posibilidad de reutilización/reciclaje al final de su vida útil. El objetivo es evitar la generación de residuos y promover una economía del rendimiento en la que se priorice el acceso a los servicios en lugar de la propiedad de los productos.
- Reducir: Se refiere a la reducción del consumo y la minimización de los recursos utilizados en la producción y el consumo. Esto implica evitar el desperdicio, utilizar recursos de manera eficiente y adoptar prácticas de consumo responsable. Al reducir la cantidad de recursos utilizados, se disminuye la generación de residuos y se contribuye a la conservación de los recursos naturales.

- Reutilizar: Consiste en extender la vida útil de los productos y materiales a través de la reutilización. Esto implica darles un nuevo propósito o utilizarlos de nuevo en su forma original sin procesos de transformación significativos. La reutilización puede incluir la reparación de productos, la venta de segunda mano, el intercambio o alquiler de productos, entre otras prácticas.
- Reparar: Implica arreglar productos o componentes en lugar de desecharlos cuando se vuelven inutilizables o se dañan. La reparación contribuye a prolongar la vida útil de los productos y a reducir la necesidad de fabricar nuevos productos, lo que a su vez reduce el consumo de recursos y la generación de residuos.
- Refabricar: Consiste en el proceso de recuperar productos o componentes y transformarlos en productos nuevos o reacondicionados. En la refabricación, los materiales y componentes se someten a un proceso de remanufactura para producir productos de calidad comparable a los nuevos. Esto permite aprovechar los materiales existentes y reducir la demanda de recursos naturales.
- Reciclar: Se refiere al proceso de recuperar y transformar materiales o productos al final de su vida útil para crear nuevos productos o materiales. El reciclaje implica la recolección, clasificación y procesamiento de los materiales para convertirlos en recursos secundarios. Esto ayuda a reducir la extracción de recursos naturales y la generación de residuos.
- Recuperar: Se refiere a la recuperación de energía a partir de los residuos que no pueden ser reciclados o reutilizados. En lugar de desecharlos en vertederos, los residuos se utilizan para la producción de energía a través de tecnologías como la incineración con recuperación de energía o la producción de biogás.

Estas 7 Rs son un enfoque práctico para promover la economía circular y guiar acciones concretas en el diseño, producción, consumo y gestión de productos y materiales.

Al aplicar estas 7 Rs, se busca minimizar la generación de residuos, maximizar el uso de recursos y avanzar hacia un modelo más sostenible y circular.

## 2.4. LA UNIÓN EUROPEA Y LA ECONOMÍA CIRCULAR

La Unión Europea ha sido, a escala mundial, pionera en la promoción y desarrollo de la economía circular a través de una normativa sólida y una visión estratégica [24].

Reconoce la importancia de la economía circular para abordar los desafíos ambientales y económicos, y ha establecido un marco legislativo para impulsar la transición hacia este modelo.

En términos de normativa, el paquete de economía circular adoptado en 2020 [38] establece objetivos y acciones concretas para mejorar la gestión de residuos, fomentar la reutilización y el reciclaje, reducir la generación de residuos y promover la ecoinnovación. Este paquete incluye medidas como el establecimiento de metas de reciclaje para diferentes materiales, la restricción de ciertos productos de un solo uso y la promoción de la ecoetiquetado.

También ha establecido la Plataforma de la Economía Circular, que reúne a actores clave, como empresas, organizaciones no gubernamentales, investigadores y autoridades públicas, para intercambiar conocimientos, buenas prácticas y promover la colaboración en este ámbito.

Además, la Unión Europea ha implementado, con cierto nivel de éxito, la Directiva Marco de Residuos [39], que establece un marco común para la gestión de residuos en los Estados miembros.

También ha adoptado la Directiva sobre Envases y Residuos de Envases, que establece objetivos ambiciosos de reciclaje para los envases y promueve la prevención de residuos.

En términos de desarrollo, la Unión Europea ha asignado fondos significativos para apoyar la transición hacia la economía circular. Esto incluye programas de financiación, como el Programa Horizonte 2020 y el Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas, que respaldan la investigación, la innovación y los proyectos piloto en el ámbito de la economía circular.

Todo lo citado fija el objetivo de la Unión Europea en ser líder mundial en la transición hacia la economía circular.

Se espera que esta transición genere un retorno a nivel económico, como la creación de empleo, la estimulación de la innovación y la mejora de la competitividad de las empresas europeas. Incluso se está trabajando en la revisión y actualización constante

de su marco normativo para promover una economía circular más sólida y eficiente. Se prevé que nuevas medidas se implementen en los próximos años, como la ampliación de los objetivos de reciclaje, la promoción de la economía de los datos y la digitalización, y la adopción de estándares de diseño ecológico para productos

Además, también se espera que la economía circular contribuya a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la conservación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente.

#### 2.4.1. PAQUETE DE ECONOMÍA CIRCULAR

El paquete de economía circular de la Unión Europea, adoptado en 2018 [38], consta de varias directivas y medidas legislativas.

A continuación, se mencionan algunas de las principales directivas que componen este paquete:

- Directiva sobre Residuos [39]: Establece objetivos y principios clave, como la jerarquía de residuos (prevención, preparación para la reutilización, reciclaje, recuperación y eliminación) y la responsabilidad extendida del productor, que promueve que los fabricantes asuman la responsabilidad de la gestión adecuada de los productos al final de su vida útil.
- Directiva sobre Envases y Residuos de Envases: Establece objetivos de reciclaje para diferentes materiales de envases y promueve la prevención de residuos a través de medidas como el diseño ecológico de los envases.
- Directiva sobre Vertederos: Establece criterios estrictos para el tratamiento de los residuos en los vertederos y fomenta la recuperación de energía a partir de los mismos.
- Directiva sobre el uso eficiente de los recursos: Tiene como objetivo fomentar la eficiencia en el uso de los recursos y reducir el impacto ambiental de la extracción y el uso de recursos naturales. Proporciona orientación sobre la medición del consumo de recursos, la prevención de residuos y la promoción de la ecoinnovación.
- Directiva sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) [23]: Establece normas para la gestión adecuada de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, con el objetivo de promover su reciclaje y minimizar los impactos ambientales y de salud asociados a estos residuos.

## 2.4.2. DIRECTIVA SOBRE RESIDUOS

### 2.4.2.1. Primera directiva marco sobre residuos

La Directiva Marco de Residuos (Directiva 2018/98/CE) [40] de la Unión Europea fue una de las principales directivas en el marco legislativo de la economía circular.

Su objetivo era establecer un marco común para la gestión de residuos en todos los Estados miembros de la Unión Europea, promoviendo la prevención, la reutilización, el reciclaje y la recuperación de residuos, así como la minimización de su impacto ambiental.

Algunos aspectos clave de la Directiva sobre Residuos incluyen:

- Jerarquía de residuos: Se establece la jerarquía de residuos como el enfoque preferente para la gestión de residuos. Esta jerarquía se basa en una serie de pasos, que van desde la prevención de residuos en primer lugar, seguido de la preparación para la reutilización, el reciclaje, la recuperación de energía y, en última instancia, la eliminación segura de los residuos.
- Prevención de residuos: Fomenta la prevención en la generación de residuos en todas las etapas de la cadena de producción y consumo. Se insta a los Estados miembros a desarrollar planes y programas de prevención de residuos, así como a promover prácticas sostenibles y el uso eficiente de los recursos.
- Responsabilidad extendida del productor (REP): Se establece el principio de la responsabilidad extendida del productor, que implica que los productores asuman una mayor responsabilidad en la gestión de los productos al final de su vida útil. Los productores son alentados a diseñar productos que sean más duraderos, reparables y reciclables, y deben asumir los costos asociados a la gestión adecuada de los productos al final de su vida útil.
- Objetivos de reciclaje: Se establecen objetivos específicos de reciclaje para diferentes tipos de residuos, incluyendo residuos municipales, residuos de envases y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Estos objetivos buscan aumentar el nivel de reciclaje en la Unión Europea y reducir la cantidad de residuos enviados a vertederos.

- Promoción de la economía circular: Se fomenta la transición hacia la economía circular, promoviendo la reutilización, el reciclaje y la recuperación de residuos como formas preferentes de gestión. También se fomenta la valorización de los subproductos y residuos como recursos, con el objetivo de cerrar los ciclos de materiales y reducir la dependencia de los recursos naturales.

#### 2.4.2.2. Directiva de residuos 851/2018

La Directiva sobre Residuos ha sido revisada y actualizada en 2018 en el denominado "Paquete para Economía Circular" [23] junto con la nueva Directiva de Residuos UE 851/2018 [39] para fortalecer su enfoque en la prevención y la gestión sostenible de los residuos.

Algunos de los cambios clave realizados en la revisión de 2018 de la Directiva Marco de Residuos incluyen:

- Nuevos objetivos de reciclaje: Se establecieron nuevos objetivos de reciclaje para varios materiales, como el papel, el cartón, el plástico, el vidrio, los metales ferrosos y los metales no ferrosos. Estos objetivos se establecen para el año 2025 y se espera que aumenten aún más para el año 2030.
- Preparación para la reutilización: Se introdujo el concepto de "preparación para la reutilización", que se refiere a la actividad de poner productos o componentes en un estado adecuado para su reutilización sin necesidad de ninguna otra preparación. Se alienta a los Estados miembros a fomentar la preparación para la reutilización y establecer objetivos específicos en este ámbito.
- Gestión de residuos peligrosos: Se reforzaron las disposiciones relacionadas con la gestión de residuos peligrosos, estableciendo requisitos más estrictos para su tratamiento y eliminación segura. Se promueve la reducción de la generación de residuos peligrosos y se fomenta su reciclaje siempre que sea posible.
- Impulsar la economía circular: Se hizo hincapié en promover la economía circular en la gestión de residuos. Se introdujeron disposiciones para facilitar la trazabilidad de los residuos, mejorar la gestión de subproductos y

promover la cooperación entre las autoridades competentes, la industria y otras partes interesadas en la transición hacia la economía circular.

Estas modificaciones refuerzan aún más el enfoque de la Unión Europea hacia la gestión sostenible de los residuos y la promoción de la economía circular.

## 2.5. ESPAÑA Y LA ECONOMÍA CIRCULAR

En España, la normativa en materia de economía circular se basa en la transposición de la normativa de la Unión Europea y en la adopción de medidas específicas a nivel nacional.

La Estrategia Española de Economía Circular [41], conocida como España Circular 2030, establece las bases para promover un nuevo modelo de producción y consumo en España.

El objetivo es mantener el valor de los productos, materiales y recursos en la economía durante el mayor tiempo posible, minimizar la generación de residuos y aprovechar al máximo aquellos que no se puedan evitar. La estrategia contribuye a los esfuerzos de España para lograr una economía sostenible, descarbonizada, eficiente en el uso de recursos y competitiva.

La estrategia se alinea con los planes de acción de economía circular de la Unión Europea, el Pacto Verde Europeo y la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Tiene una visión a largo plazo (España Circular 2030), que se alcanzará a través de planes de acción trienales sucesivos.

La estrategia establece un decálogo de orientaciones estratégicas y objetivos cuantitativos a alcanzar para 2030, que incluyen:

- Reducir en un 30% el consumo nacional de materiales en relación con el PIB, tomando como referencia el año 2010.
- Reducir la generación de residuos en un 15% respecto a 2010.
- Reducir los residuos de alimentos en toda la cadena alimentaria, tanto en los hogares como en la producción y suministro.
- Incrementar la reutilización y preparación para la reutilización de los residuos municipales hasta alcanzar el 10%.
- Mejorar la eficiencia en el uso del agua en un 10%.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero por debajo de los 10 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

---

La estrategia identifica seis sectores prioritarios para la economía circular:

- Construcción
- Agroalimentario
- Pesquero y forestal
- Industrial
- Bienes de consumo
- Turismo y textil/confección.

Las políticas clave para avanzar en economía circular incluyen aspectos económicos, fiscales, de empleo, I+D+i, consumo, política industrial, agua, agraria y desarrollo de áreas rurales.

Las líneas principales de actuación de la estrategia son: producción, consumo, gestión de residuos, materias primas secundarias, reutilización del agua, sensibilización y participación, investigación, innovación y competitividad, y empleo y formación.

Los indicadores de la estrategia se alinean con los seleccionados a nivel europeo para poder comparar el progreso de España con otros países. Además, se añade un indicador de la participación del sector de residuos en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Además de estas normativas, es importante mencionar que las comunidades autónomas en España tienen competencias en la gestión de residuos y pueden contar con legislación específica y planes regionales de gestión de residuos que complementan la normativa estatal.

### 2.5.1. PLAN DE ACCIÓN DE ECONOMÍA CIRCULAR

El Plan de Acción de Economía Circular es un instrumento que surge como respuesta a la Estrategia Española de Economía Circular [41].

Este plan, de carácter trienal, concreta y coordina las medidas de la Administración General del Estado para promover e integrar la economía circular en diferentes políticas sectoriales, con el objetivo de avanzar hacia un modelo económico, social y ambientalmente sostenible.

El primer Plan de Acción de Economía Circular (I Plan de Acción) [42] está compuesto por 116 medidas propuestas por once ministerios del gobierno de España, que buscan una respuesta coordinada y complementaria.

Estas medidas tienen como objetivo cumplir con los objetivos establecidos para el año 2030 y mantener la coherencia con las iniciativas y políticas a nivel comunitario.

El Plan de Acción se estructura en 5 ejes de actuación y 3 líneas de acción, basándose en los criterios establecidos en la Estrategia Española de Economía Circular [41] y tomando como referencia los ejes definidos en el primer Plan de Acción de Economía Circular de la Comisión Europea.

A su vez, dentro de cada eje y línea se agrupan las medidas que abordan las preocupaciones más compartidas relacionadas con la economía circular.

A continuación, se resumen las medidas propuestas por cada eje de actuación:

- Eje de actuación "Producción": promover el diseño y rediseño de procesos y productos para optimizar el uso de recursos no renovables, fomentando el uso de materias primas secundarias y recicladas, y minimizando el uso de sustancias nocivas. El objetivo es obtener productos más fácilmente reciclables y reparables, impulsando una economía más sostenible y eficiente.
- Eje de actuación "Consumo": reducir la huella ecológica mediante un cambio hacia un consumo más responsable que evite el desperdicio y el uso de materias primas no renovables.
- Eje de actuación "Gestión de los Residuos": aplicar el principio de jerarquía de residuos de manera efectiva, priorizando la prevención, la preparación para la reutilización y el reciclaje de los residuos.
- Eje de actuación "Materias primas secundarias": garantizar la protección del medio ambiente y la salud humana reduciendo el uso de recursos no renovables y fomentando la reintroducción de los materiales contenidos en los residuos como materias primas secundarias en los procesos de producción.
- Eje de actuación "Reutilización y depuración del agua": promover el uso eficiente del agua, conciliando la protección de la calidad y cantidad de las masas acuáticas con un aprovechamiento sostenible e innovador del recurso.

Las tres líneas de actuación transversales son:

- Línea de actuación "Investigación, innovación y competitividad": fomentar el desarrollo y aplicación de nuevos conocimientos y tecnologías para

impulsar la innovación en procesos, productos, servicios y modelos de negocio, promoviendo la colaboración público-privada y la formación de investigadores y personal en I+D+i, así como la inversión empresarial en I+D+i.

- Línea de actuación "Participación y sensibilización": promover la implicación de agentes económicos, sociales y la ciudadanía en general, concienciando sobre los desafíos medioambientales, económicos y tecnológicos actuales y la importancia de aplicar el principio de jerarquía de residuos.
- Línea de actuación "Empleo y formación": fomentar la creación de nuevos empleos y mejorar los existentes en el marco de la economía circular.

Estas medidas y líneas de actuación buscan promover la economía circular en España, impulsando una transición hacia un modelo más sostenible y eficiente en el uso de los recursos.

### 3. DESARROLLO SOSTENIBLE

El desarrollo sostenible [24] se refiere a un enfoque de desarrollo que busca satisfacer las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Se basa en el equilibrio entre los aspectos económicos, sociales y ambientales, reconociendo que estos tres pilares están interconectados y son igualmente importantes.

El desarrollo sostenible implica la adopción de prácticas y políticas que promuevan la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, protejan el medio ambiente, fomenten la equidad social, y garanticen un crecimiento económico inclusivo y sostenible.

Su objetivo es lograr un desarrollo equitativo y duradero que satisfaga las necesidades presentes y futuras de las personas y proteja el planeta.

El desarrollo sostenible se basa en varios principios fundamentales, como la responsabilidad intergeneracional, la integración de los aspectos económicos, sociales y ambientales, la participación ciudadana, la cooperación internacional y la equidad.

Para lograr el desarrollo sostenible, es necesario abordar desafíos como la pobreza, el hambre, la desigualdad, el cambio climático, la degradación ambiental y la falta de acceso a servicios básicos [43].

Esto implica la implementación de políticas y prácticas que promuevan la eficiencia en el uso de los recursos, la conservación de la biodiversidad, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la promoción de la igualdad de género, la mejora de la educación y la salud, entre otros aspectos.

El concepto de desarrollo sostenible se popularizó a nivel mundial con la publicación del informe "Nuestro futuro común" en 1987, también conocido como el Informe Brundtland, que sentó las bases para la adopción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en 2015 [4].

### 3.1. AGENDA 2030: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Agenda 2030, son una serie de metas globales adoptadas por las Naciones Unidas en 2015[4]

Los ODS constituyen un marco integral y ambicioso para abordar los desafíos más urgentes que enfrenta el mundo, incluyendo la pobreza, el hambre, la desigualdad, el cambio climático, la degradación ambiental y la falta de acceso a servicios básicos.

Los ODS aparecen en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, un documento adoptado por todos los países miembros de las Naciones Unidas en septiembre de 2015.

La Agenda 2030 establece un compromiso global para promover el desarrollo sostenible en sus tres dimensiones: económica, social y ambiental.

Los ODS se componen de 17 objetivos interrelacionados y 169 metas específicas. Cada objetivo aborda un área particular de desarrollo y establece metas y acciones concretas para lograr avances significativos hacia un mundo más sostenible. Los 17 ODS son los siguientes:

- Fin de la pobreza: Poner fin a la pobreza en todas sus formas y dimensiones.
- Hambre cero: Lograr la seguridad alimentaria, la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
- Salud y bienestar: Garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos en todas las edades.
- Educación de calidad: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad, y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida.
- Igualdad de género: Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y niñas.
- Agua limpia y saneamiento: Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.
- Energía asequible y no contaminante: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
- Trabajo decente y crecimiento económico: Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos.

- Industria, innovación e infraestructura: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.
- Reducción de las desigualdades: Reducir la desigualdad en y entre los países.
- Ciudades y comunidades sostenibles: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
- Producción y consumo responsables: Garantizar pautas de producción y consumo sostenibles.
- Acción por el clima: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
- Vida submarina: Conservar y utilizar de manera sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos.
- Vida de ecosistemas terrestres: Proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible, combatir la desertificación y detener la pérdida de biodiversidad.
- Paz, justicia e instituciones sólidas: Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, brindar acceso a la justicia para todos y construir instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
- Alianzas para lograr los objetivos: Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.

Los ODS son una guía global para los gobiernos, la sociedad civil, el sector privado y otros actores relevantes para trabajar en conjunto y lograr un desarrollo sostenible en todo el mundo. Se espera que los ODS sean alcanzados para el año 2030, y su implementación requiere acciones a nivel local, nacional, regional y global.

## 4. EL RECICLADO DE RESIDUOS Y LA ECONOMÍA CIRCULAR

La utilización de materiales reciclados desempeña un papel fundamental en la economía circular, un modelo que busca maximizar el valor de los productos, materiales y recursos, manteniéndolos en la economía durante el mayor tiempo posible.

El uso de materiales reciclados es esencial para reducir la extracción de recursos naturales y minimizar la generación de residuos.

Al reciclar materiales, como plásticos, metales, papel y vidrio, o los expuestos en esta tesis (caucho y hueso de oliva) se evita la necesidad de extraer nuevas materias primas, lo que contribuye a la conservación de los recursos naturales y reduce el impacto ambiental asociado con su extracción.

Además, el uso de materiales reciclados fomenta la reducción de la energía y los costos asociados con la producción de nuevos materiales.

La transformación de materiales reciclados en nuevos productos evita la energía requerida en los procesos de extracción, refinación y fabricación de materiales vírgenes. Esto no solo reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de energía, sino que también puede generar ahorros significativos en los costos de producción.

La utilización de materiales reciclados también impulsa la creación de empleo y la promoción de la innovación. La industria del reciclaje genera oportunidades de empleo en la recolección, clasificación, procesamiento y fabricación de productos reciclados. Además, fomenta la investigación y el desarrollo de tecnologías más eficientes para el reciclaje y la gestión de residuos.

Al integrar materiales reciclados en la cadena de suministro, las empresas pueden promover la circularidad en sus operaciones y ofrecer productos más sostenibles. Esto no solo les permite cumplir con las demandas de los consumidores preocupados por el medio ambiente, sino que también les brinda una ventaja competitiva al demostrar su compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental.

## 4.1. DOPADO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN CON RESIDUOS

El dopado de materiales de construcción implica la incorporación de productos reciclados en la fabricación de nuevos materiales de construcción.

Esto permite reutilizar los materiales existentes y cerrar los ciclos de vida de los recursos, evitando la necesidad de extraer nuevos recursos naturales.

Al dopar los materiales de construcción con productos reciclados, se obtienen varios beneficios. En primer lugar, se reduce la demanda de materias primas vírgenes, lo que contribuye a la conservación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente. Además, se evita la generación de residuos al darle una segunda vida a los materiales previamente utilizados. En ese sentido, esta es la principal ventaja de la reutilización del caucho reciclado procedente de los neumáticos fuera de uso.

La reducción del consumo energético es otro beneficio importante de la adición de dopado de residuos en materiales de construcción, debido a la reducción de la conductividad térmica.

Cuando se dopan los materiales de construcción con residuos, como por ejemplo en el caso del dopado de hormigón o mortero con caucho o hueso de oliva, se puede lograr una disminución significativa de la conductividad térmica del material resultante.

Esto significa que el material tiene una mejor capacidad para resistir la transferencia de calor a través de él.

Al tener una menor conductividad térmica, los materiales dopados pueden ayudar a reducir las pérdidas de calor o frío en los edificios. Esto tiene un impacto directo en la demanda de energía para calefacción o refrigeración, ya que se requiere menos energía para mantener una temperatura estable y confortable en el interior de los edificios.

Además, al reducir las pérdidas de calor o frío, los materiales dopados también pueden mejorar el confort térmico de los espacios interiores. Esto se traduce en una mayor comodidad para los ocupantes, ya que se minimizan las fluctuaciones de temperatura y se mantiene un ambiente más agradable durante períodos tanto de calor como de frío.

Esta reducción del consumo energético puede tener un impacto significativo en la sostenibilidad ambiental. Al disminuir la demanda de energía, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y se contribuye a mitigar el cambio climático.

La reducción en el consumo energético también puede tener beneficios económicos en la factura de suministros energéticos al disminuir los costos asociados con la energía utilizada para la climatización de los edificios.

También puede generar oportunidades de negocio en la industria del reciclaje y la fabricación de materiales reciclados.

Por último, el dopado de materiales de construcción con productos reciclados puede ofrecer ventajas económicas. En muchos casos, los materiales reciclados pueden ser más económicos que los materiales vírgenes, lo que puede resultar en costos de construcción más bajos.

## 5. REDUCCIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MEZCLA DE RESIDUOS CON MORTERO Y HORMIGÓN

### 5.1. DOPADO DE MORTERO Y HORMIGÓN CON RESIDUOS

El reciclaje de residuos y la reducción del consumo de combustibles fósiles desempeñan un papel crucial en la lucha contra el calentamiento global.

Actualmente, todavía una parte de los residuos generados por las actividades del ser humano terminan en vertederos sin recibir ningún tipo de tratamiento.

Sin embargo, en un loable esfuerzo por minimizar la generación de residuos y reducir el consumo de recursos, se ha adoptado sobre todo a nivel europeo el enfoque de economía circular, que busca reincorporar los residuos y subproductos en los procesos industriales [44] .

El sector de la construcción es un campo perfecto para aplicar estas tendencias.

Cada vez más, se utilizan materiales de construcción que contienen una cantidad significativa de residuos procedentes de otros procesos, incluso de sectores ajenos a la construcción, pero que mejoran las propiedades del producto final.

El hormigón y el mortero son dos de los materiales de construcción más utilizados debido a sus buenas propiedades mecánicas, durabilidad y facilidad de moldeado, además de su amplia disponibilidad. Sin embargo, su producción también tiene un impacto ambiental importante. Se estima que la industria del cemento, que es el principal componente del hormigón, es responsable de aproximadamente el 7% de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub>.

La sustitución del cemento por materiales reciclados en la fabricación de hormigón puede reducir su impacto ambiental. De hecho, ya se ha demostrado la viabilidad de reemplazar ciertos agregados naturales por residuos de hormigón provenientes de demoliciones o subproductos de la propia industria del hormigón.

La reducción de la conductividad térmica es una técnica utilizada en la construcción para mejorar el aislamiento térmico de los edificios. Consiste en agregar materiales con

baja conductividad térmica a la mezcla de cemento, lo que reduce la transferencia de calor a través de las paredes y techos.

El agregado de algunos materiales reciclados puede, por tanto, mejorar las propiedades del hormigón y del mortero, especialmente en términos de aislamiento térmico.

Las regulaciones europeas establecen condiciones de protección térmica para los edificios, con el objetivo de garantizar un consumo energético razonable y lograr confort y costos de operación bajos. Estas regulaciones han ido reduciendo los requisitos de transmitancia térmica en la legislación aplicable en la mayoría de los países de la Unión Europea.

En la investigación experimental, se ha utilizado una variedad de materiales reciclados, como plásticos de diferentes tipos y composiciones, para mejorar el comportamiento térmico del hormigón.

En esta tesis se proponen ensayos sobre el caucho de los neumáticos fuera de uso y el hueso de oliva para el dopado de mortero y hormigón con el objetivo de reducir la conductividad térmica del producto final y que puedan ser una opción viable en la sustitución de productos tradicionales en construcción.

## 5.2. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conductividad térmica  $\lambda$  (**lambda**) es una propiedad física de los materiales que describe su capacidad para conducir el calor.

Determina la eficiencia con la que un material puede transferir calor.

Un material con alta conductividad térmica permite que el calor se transmita fácilmente a través de él, mientras que un material con baja conductividad térmica es un buen aislante térmico, ya que dificulta la transferencia de calor.

La conductividad térmica se expresa típicamente en unidades de vatios por metro y grado Kelvin ( $W/m \cdot K$ ) en el sistema internacional.

Un valor más alto indica una mayor conductividad térmica, lo que significa que el material transfiere calor más eficientemente. Por el contrario, un valor más bajo indica una menor conductividad térmica y una mayor capacidad de aislamiento térmico.

Es importante destacar que la conductividad térmica de un material puede variar en función de su estructura, composición y temperatura. Por ejemplo, los metales suelen tener una alta conductividad térmica debido a la facilidad con la que los electrones

pueden transferir el calor. Por otro lado, los materiales aislantes, como la lana mineral o el poliestireno expandido, tienen una baja conductividad térmica debido a la presencia de pequeñas bolsas de aire que interrumpen el flujo de calor.

Este coeficiente varía, por tanto, con las condiciones del material (humedad que contiene, temperatura a la que se hace la medición), por lo que se fijan condiciones para hacerlo, generalmente para material seco y 15 °C y en otras ocasiones, 300 K.

La conductividad térmica de los materiales es una consideración importante en numerosas aplicaciones, como la construcción de edificios, la industria de la energía, los sistemas de calefacción y refrigeración, y el diseño de dispositivos electrónicos.

Entender y controlar la conductividad térmica de los materiales es fundamental para optimizar el rendimiento energético y garantizar el confort térmico en diversas situaciones.

Como se puede ver en la siguiente tabla los materiales metálicos suelen tener valores muy altos mientras que todos los considerados aislantes (poliestireno, poliuretano, celulosa...) tienen valores muy bajos.

Por otra parte, la conductividad térmica del mortero y del hormigón puede variar dependiendo de su composición exacta y de los materiales utilizados en su fabricación.

Aun así, unos valores aproximados podrían ser:

- Mortero convencional: 0.7 - 1.5 W/m·K
- Hormigón convencional: 1.4 - 2.5 W/m·K

En la práctica, la conductividad térmica del mortero y del hormigón también puede verse afectada por otros factores, como la densidad, la humedad, la presencia de aire o aditivos, y el grado de compactación de los materiales.

En aplicaciones de construcción donde el aislamiento térmico es una consideración importante, es posible utilizar técnicas y materiales adicionales, como aislamiento térmico externo (SATE) o aislantes incorporados, para mejorar la eficiencia energética y reducir las pérdidas de calor o frío a través de las paredes y estructuras de los edificios.

A continuación, se muestra una tabla con valores habituales de conductividad de determinados materiales.

Materiales	Conductividad Térmica (W/m·K)
Aire	0.024
Agua	0.58
Vidrio	0.8 - 1.2
Madera	0.1 - 0.2
Ladrillo	0.80
Cemento	0.6 - 1.3
Acero	50 - 60
Cobre	380
Aluminio	209
Poliestireno expandido	0.03 - 0.04
Lana de vidrio	0.03 - 0.06
Piedra caliza	1.3 - 1.5
Hormigón	1.4 - 2.5
PVC	0.15 - 0.2
Polipropileno	0.1 - 0.25
Poliestireno extruido	0.03 - 0.04
Lana mineral	0.03 - 0.05
Caucho	0.15 - 0.25
Polimetacrilato de metilo	0.2 - 0.3
Fibra de carbono	1.7 - 2.8
Polietileno	0.4 - 0.5
Aislante de celulosa	0.03 - 0.05
Gel de sílice	0.004 - 0.05
Titanio	20 - 22
Espuma de poliuretano	0.02 - 0.03
Plomo	35 - 40
Corcho	0.04 - 0.06
Cristal líquido	0.1 - 0.3
Óxido de magnesio	0.03 - 0.05
Poliamida	0.2 - 0.3
Granito	2.7 - 3.0
Mármol	2.5 - 5.0
Piedra pómez	0.06 - 0.1
Piedra volcánica	0.8 - 1.0
Zinc	110 - 120
Estaño	50 - 60
Vidrio celular	0.05 - 0.08
Fibra de vidrio	0.04 - 0.05

Tabla 1 – Valores de conductividad térmica de diversos materiales



---

## **EL RESIDUO DE HUESO DE OLIVA EN ESPAÑA**

## 1. PRODUCCIÓN DE HUESO DE OLIVA EN ESPAÑA

El cultivo y aprovechamiento del olivo y su oliva han sido históricamente muy importantes en España.

Los orígenes de su cultivo se remontan a la época romana, cuando se expandió por todo el Mediterráneo y convirtió a la península en uno de los principales exportadores de aceite de oliva.

Desde entonces, la importancia del olivo y su oliva ha perdurado y se ha convertido en una de las principales señas de identidad de España.

Según los datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del Gobierno de España, en el anuario de estadística de superficies y producciones agrícolas, se ha observado un aumento en la superficie destinada al cultivo del olivo en la última década (2010-2020), como se puede apreciar en la siguiente figura.

Esta expansión del cultivo refleja la continua relevancia del olivo y su oliva en la economía agrícola del país.

La producción de oliva en España se destina principalmente a dos fines: la oliva para aderezo en mesa (Table Olive) y la oliva de almazara para la producción de aceite de oliva (Mill Olive).

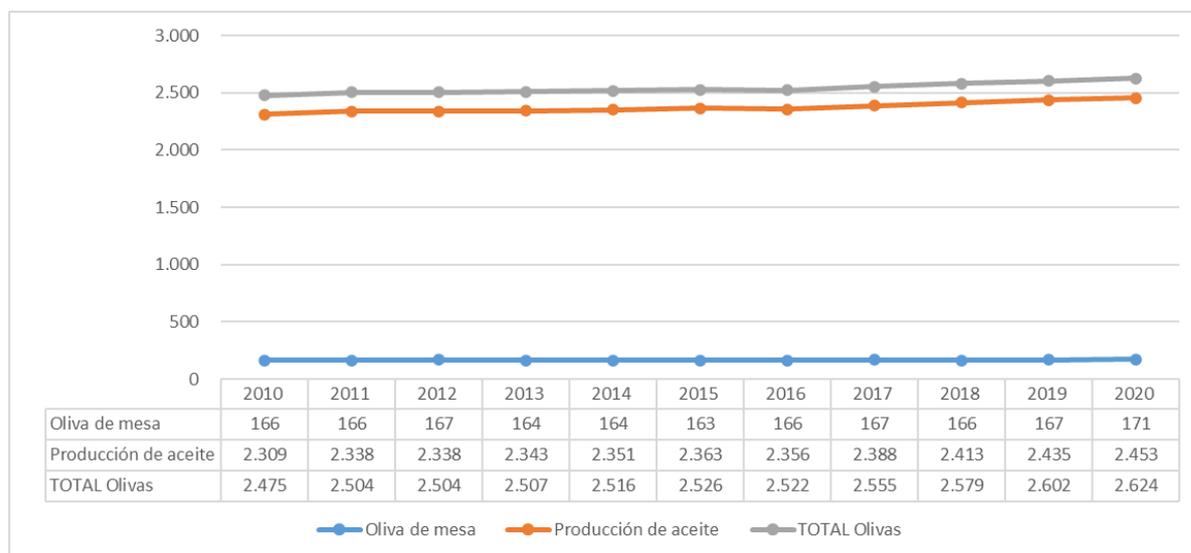


Ilustración 1 - Evolución de superficie de olivar en España (2010-2020) en miles de hectáreas según Ministerio de Agricultura pesca y alimentación del Gobierno de España.

Ambos destinos (aderezo en mesa - Table Olive y oliva de almazara para la producción de aceite de oliva - Mill Olive) representan una parte significativa de la industria agrícola y alimentaria española, y han contribuido a mantener el prestigio y la calidad del aceite de oliva producido en todo el país.

El aumento de la superficie destinada al cultivo del olivo en la última década refleja el compromiso continuo de la industria agrícola con este valioso recurso, que desempeña un papel fundamental en la economía y en la identidad cultural de España.

Como se puede observar en la década 2010-2020 se ha aumentado la superficie de plantación total de olivo desde las 2.475.000 hectáreas a las 2.624.000 hectáreas en un incremento del 6%.

Es evidente, por tanto, que se trata de un producto de alto valor añadido y en expansión dentro de la geografía española.

El 93% de esta superficie se destina para almazara con la obtención posterior de aceite de oliva (Mill Olive), orujo sin desgrasar y aceite de orujo mientras que tan sólo el 7% es cultivado para oliva de consumo como aderezo (Table Olive).

Por último, a nivel de productividad es importante diferenciar también entre cultivo de olivo de secano (Dry) y de regadío (Irrigated).

En general, el olivo es un árbol muy tolerante a la sequía y que tiene pocos requisitos hídricos para obtener una producción de oliva considerable.

Sin embargo, con la profesionalización del sector en las últimas décadas se ha comprobado que la producción se incrementa bastante cuando el olivar recibe un agua de riego complementaria a la de las precipitaciones naturales, en momentos de temporada concretos y sobre todo en zonas donde el agua de lluvia es muy limitada.

La producción del olivo con una correcta gestión de riego puede duplicarse en oliva para almazara y casi triplicarse en oliva de mesa.

Por este motivo es importante diferenciar la superficie destinada a olivo de secano y la destinada a regadío para poder cuantificar la producción final de oliva.

Los datos proporcionados por el Ministerio de agricultura, pesca y alimentación del Gobierno de España [45] en el último anuario de estadística de superficies y producciones agrícolas publicado se muestran en la siguiente figura.

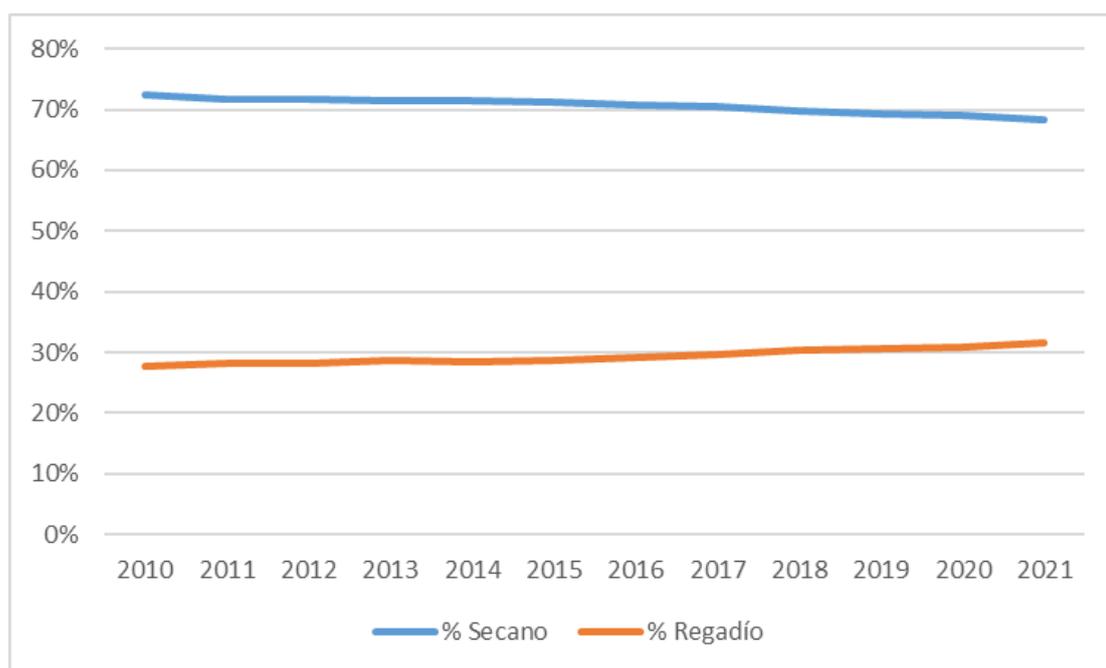


Ilustración 2 - Evolución de superficie de olivar en secano y regadío en España (2010-2021) según Ministerio de agricultura, pesca y alimentación del Gobierno de España.

Como se puede observar la media se sitúa en torno al 70% de cultivo en secano por un 30% de cultivo en regadío, aunque la proporción de este último ha aumentado en la última década un 4% pasando del 28% al 32%.

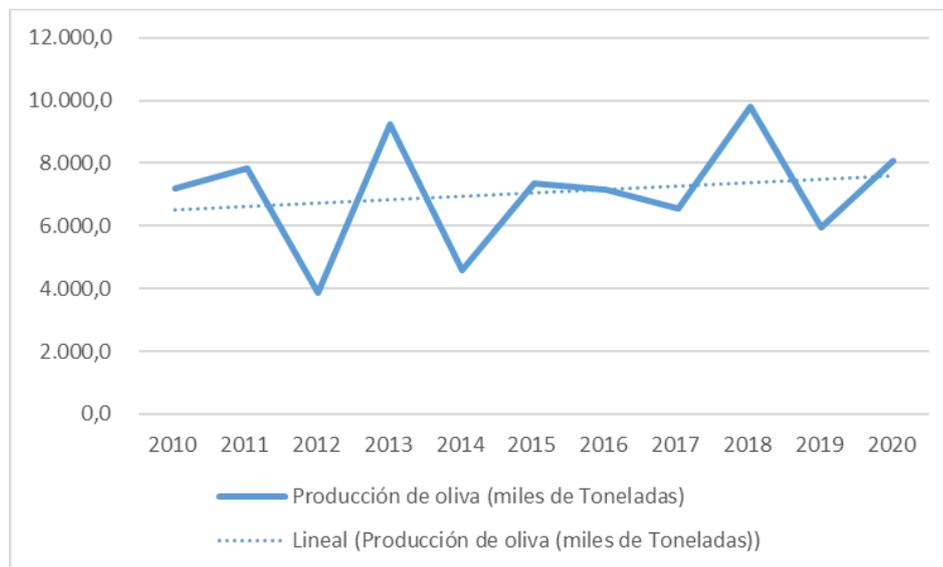
El rendimiento de producción medio para cada uno de los tipos de cultivo de olivar (secano y regadío) se muestra en la siguiente tabla:

Tipo de hueso de aceituna	Seco	Regadío
Oliva de mesa	1.657	5.307
Oliva para producción de aceite	2.589	5.684
Rendimiento medio	2.525	5.663

Tabla 2 - Producción media en kg por hectárea de olivar según Ministerio de agricultura, pesca y alimentación del Gobierno (año 2021).

Estos valores de producción aportados (2021) no son siempre constantes ya que dependen mucho tanto de las condiciones meteorológicas del año en curso, como de las necesidades del mercado (oferta y demanda) principalmente del aceite de oliva (al ser este el producto principal).

La producción final real de oliva en España durante la última década (2010-2020) con datos proporcionados por el Ministerio de agricultura, pesca y alimentación del Gobierno de España se representa en la siguiente figura.



*Ilustración 3 - Producción total en España (2010-2020) en miles de toneladas de oliva según Ministerio de agricultura, pesca y alimentación del Gobierno*

Debido a esta fluctuación en el rendimiento productivo anual de cada plantación, se pueden observar grandes dientes de sierra en la evolución de la producción final de oliva, aunque su proyección lineal tiene una tendencia en ligero ascenso y se sitúa para la actualidad en torno a 8.000 millares de toneladas de oliva (8.000.000.000 kg. de oliva).

Año	Producción total de aceituna (miles de toneladas)
2010	7.197,6
2011	7.820,1
2012	3.849,3
2013	9.250,6
2014	4.579,2
2015	7.352,1
2016	7.154,1
2017	6.549,5
2018	9.819,6
2019	5.965,1
2020	8.070,0

*Tabla 3 - Resumen producción anual de oliva en España. 2010-2020*

Por comunidades autónomas, el porcentaje principal de superficie de plantación en España se sitúa entre Andalucía, Castilla-La Mancha y Extremadura (véase tabla).

Entre las 3 disponen del 86,50% de todo el olivar actual.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	%
GALICIA	0,01%
P. DE ASTURIAS	0,00%
CANTABRIA	0,00%
PAÍS VASCO	0,01%
NAVARRA	0,34%
LA RIOJA	0,23%
ARAGÓN	2,01%
CATALUÑA	4,41%
BALEARES	0,34%
CASTILLA Y LEÓN	0,31%
MADRID	1,04%
CASTILLA-LA MANCHA	15,50%
C. VALENCIANA	3,81%
R. DE MURCIA	0,90%
EXTREMADURA	8,05%
ANDALUCÍA	63,01%
CANARIAS	0,02%
TOTAL ESPAÑA	100,00%

Tabla 4 - Porcentaje de superficie de olivar en las distintas comunidades autónomas españolas sobre total según Ministerio de agricultura, pesca y alimentación del Gobierno de España 2021.

En cuanto a producción, estas 3 comunidades también copan los porcentajes mayoritarios alcanzando el 93,38% del total, siendo muy destacable la aportación global de Andalucía (81,27% de producción por un 63,01% de superficie). La siguiente tabla muestra los diversos porcentajes de producción de olivas en España por comunidad autónoma.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	%
GALICIA	0,004%
P. DE ASTURIAS	0,000%
CANTABRIA	0,000%
PAÍS VASCO	0,003%
NAVARRA	0,425%
LA RIOJA	0,235%
ARAGÓN	0,875%
CATALUÑA	2,051%
BALEARES	0,062%
CASTILLA Y LEÓN	0,094%
MADRID	0,415%
CASTILLA-LA MANCHA	8,027%
C. VALENCIANA	1,734%
R. DE MURCIA	0,713%
EXTREMADURA	4,085%
ANDALUCÍA	81,270%
CANARIAS	0,007%
TOTAL ESPAÑA	100,000%

*Tabla 5 - Porcentaje de producción de oliva en las distintas comunidades autónomas españolas sobre total según Ministerio de agricultura, pesca y alimentación del Gobierno de España 2021.*



Ilustración 4 - Mapa de porcentajes de producción de kg de hueso de oliva en España.

## 2. EL HUESO DE OLIVA

En toda la producción de oliva de almazara (aceite de oliva, orujo...) y en un alto porcentaje de la oliva de mesa, el hueso de oliva es un residuo que se genera en los distintos procesos industriales.

Sin embargo, y pese a tratarse de un residuo, en todas las zonas olivareras se valora habitualmente como un recurso energético de cierta entidad dada su posibilidad de ser incinerado en calderas de biomasa para la obtención de energía térmica.

Al hueso de oliva habría que añadir (en el caso de oliva de almazara para aceites de oliva) una energía extra procedente del orujillo de oliva seca formado por restos de piel y pulpa residuo del proceso de moltura.

En el proceso industrial del interior de muchas almazaras y cooperativas de producción de aceite de oliva (no todas disponen de espacio y recursos suficientes) se utilizan máquinas que separan el hueso del alperujo de oliva (mezcla de aceite, pulpa, piel y agua) normalmente mediante un proceso de centrifugación y criba posterior que permite el paso del alperujo pero no del hueso.

Una vez separado el hueso se procede a su secado al aire libre para obtener un mayor rendimiento energético del combustible.

La mezcla de este compuesto de hueso de oliva triturado tiene poder calorífico inferior (PCI) de 4,489 kWh/kg según el documento "Poderes caloríficos inferiores de las principales fuentes energéticas" del IDAE-Instituto español para la diversificación y ahorro de energía [3].

La densidad media del triturado de hueso de oliva es de 1.200 kg/m<sup>3</sup>, aunque su densidad aparente (debido a los huecos de aire en su almacenamiento) desciende a unos 600-650 kg/m<sup>3</sup>.

El porcentaje en peso de hueso de oliva sobre el total de la oliva cambia fundamentalmente en función de la variedad del tipo de olivo y sobre todo del grado (porcentaje) de humedad que contienen las olivas en el momento de la recogida. Un valor comprendido entre un 10 y un 20% del peso (150 gramos por kilogramo de oliva) es una buena aproximación para cuantificar el peso medio del hueso de oliva sobre el total.

Con estos valores y con los niveles de producción anteriormente detallados se pueden estimar aproximadamente las siguientes cantidades anuales de hueso de oliva para

cada comunidad autónoma, así como el total en España, estos se muestran en la siguiente tabla.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	%	kg of hueso de aceituna
GALICIA	0,004%	49.034
P. DE ASTURIAS	0,000%	-
CANTABRIA	0,000%	-
PAÍS VASCO	0,003%	37.635
NAVARRA	0,425%	5.101.288
LA RIOJA	0,235%	2.823.846
ARAGÓN	0,875%	10.494.595
CATALUÑA	2,051%	24.613.357
BALEARES	0,062%	740.824
CASTILLA Y LEÓN	0,094%	1.130.600
MADRID	0,415%	4.985.104
CASTILLA-LA MANCHA	8,027%	96.324.026
C. VALENCIANA	1,734%	20.805.076
R. DE MURCIA	0,713%	8.555.396
EXTREMADURA	4,085%	49.014.961
ANDALUCÍA	81,270%	975.241.492
CANARIAS	0,007%	82.765
<b>TOTAL ESPAÑA</b>	<b>100,000%</b>	<b>1.200.000.000</b>

*Tabla 6 - Producción anual estimada en kilogramos de hueso de oliva en España y por comunidades autónomas*

Se puede estimar, por tanto, una producción anual total en España de unos 1.200 millones de kilogramos de triturado de hueso de oliva, siendo fundamental la aportación de la comunidad autónoma andaluza que aporta 975 de esos 1.200 millones de kilogramos.

Aunque existen otras posibilidades para la valorización del hueso de oliva, actualmente es la combustión el principal de sus destinos ya que presenta un importante rendimiento como fuente de energía térmica.

De hecho, un alto porcentaje de este residuo de almazara en la producción de aceites de oliva y orujo no sale de las propias instalaciones ya que se destina a la generación interna de energía térmica y energía eléctrica (cogeneración).

Por otra parte, y desde hace ya unos años también se utiliza como combustible directo para calderas de biomasa domésticas y terciarias con el objetivo de satisfacer la demanda de calefacción y agua caliente sanitaria.

En otros casos, también se puede dirigir a plantas de fabricación de pellets donde se compacta con el objetivo de estandarizar su tamaño y propiedades térmicas.

Todos estos motivos hacen que los residuos de huesos de olivas sean una buena alternativa a los combustibles fósiles más habituales y contaminantes (gas natural, gasoil, propano...).

Por el contrario, estas calderas de biomasa no suelen tener un rendimiento de conversión térmica tan alto como las actuales calderas de condensación a gas ya que generan mayores pérdidas por las cenizas e inquemados que se producen al tratarse de un combustible sólido.

Además, y aunque la biomasa se considera un combustible de 0 emisiones de gases de efecto invernadero debido al balance completo de vida de la masa forestal, bien es cierto que en la combustión final se producen importantes emisiones que se podrían evitar en el caso de que se utilizase el residuo como dopado de morteros y hormigones.

Un rendimiento de conversión del poder calorífico del triturado del hueso de oliva en energía útil del 75% durante el proceso de combustión (el utilizado en el estudio) se puede considerar bastante prudente teniendo en consideración las pérdidas en la caldera y en el transporte y distribución del calor por las tuberías.

Con un planteamiento de valorización energética de todo el hueso de oliva para combustión producido en España y con este rendimiento del 75% se podría disponer de un total de 4.040 GWh/año de energía calorífica como se aprecia en la siguiente tabla.

Producción (kg/año) de hueso de aceituna en España	PCI (kWh/kg)	Rendimiento de combustión	Potencial de Energía térmica útil (GWh/año)
1.200.000.000	4,489	75%	4.040,10

Tabla 7 - Potencial de energía útil térmica posible por combustión de toda la producción anual de hueso de oliva en España.

La extrapolación de estos valores a las distintas comunidades autónomas se recoge en la siguiente tabla:

Comunidad Autónoma	%	Kg. de Hueso de Aceituna	Potencial de energía térmica útil (MWh/año)
GALICIA	0,004%	49.034	165
P. DE ASTURIAS	0,000%	-	-
CANTABRIA	0,000%	-	-
PAÍS VASCO	0,003%	37.635	127
NAVARRA	0,425%	5.101.288	17.175
LA RIOJA	0,235%	2.823.846	9.507
ARAGÓN	0,875%	10.494.595	35.333
CATALUÑA	2,051%	24.613.357	82.867
BALEARES	0,062%	740.824	2.494
CASTILLA Y LEÓN	0,094%	1.130.600	3.806
MADRID	0,415%	4.985.104	16.784
CASTILLA-LA MANCHA	8,027%	96.324.026	324.299
C. VALENCIANA	1,734%	20.805.076	70.045
R. DE MURCIA	0,713%	8.555.396	28.804
EXTREMADURA	4,085%	49.014.961	165.021
ANDALUCÍA	81,270%	975.241.492	3.283.394
CANARIAS	0,007%	82.765	279
<b>TOTAL ESPAÑA</b>	<b>100,000%</b>	<b>1.200.000.000</b>	<b>4.040.100</b>

Tabla 8 - Potencial de energía útil térmica posible por combustión de toda la producción anual de hueso de oliva por comunidades autónomas españolas

Para obtener un modelo de comparación que permita cuantificar objetivamente estos valores de potencial de energía térmica útil factible por la combustión de la biomasa de triturado de hueso de oliva se utilizan los datos del “Estudio de distribución de consumo energético residencial para calefacción en España” publicado encargado por el Ministerio de Fomento de España en 2017 [46], que a su vez emana de estudios realizados por el IDAE en el proyecto SECH-SPAHOUSEC (2011) [47] y su evolución posterior SECH-SPAHOUSEC II (2019) [48].

En ellos se cuantifica un consumo energético total real para calefacción de viviendas en España de 79.982 GWh/año, aunque se disminuye esa cifra hasta los 70.109 GWh/año cuando se consideran exclusivamente las viviendas que tienen consumo de calefacción y no se encuentran en situación de pobreza energética.

Esto se hace para eliminar de las estadísticas viviendas que no consumen por no estar habitadas o porque no tienen renta suficiente para satisfacer las necesidades térmicas de la vivienda.

Se utiliza el criterio de pobreza energética definido en el documento “Pobreza, vulnerabilidad y desigualdad energética” [49] donde se consideran como tal aquellos hogares cuyo gasto en energía doméstica equivale a más del 10% de los ingresos netos reales anuales.

La combustión de toda la biomasa de triturado de residuo de hueso de oliva que se genera en España sería capaz de satisfacer el 5% del consumo de energía térmica de calefacción de todo el parque de viviendas del país.

Aumentaría el porcentaje hasta el 5,76% cuando se analizan tan sólo las viviendas fuera de situación de pobreza energética (viviendas principales y con recursos económicos suficientes).

Se excluyen del informe la comunidad de Canarias, Ceuta y Melilla por no disponer de información suficiente.

En la siguiente tabla se muestran los datos con mayor profundidad y por comunidades autónomas.

Comunidad Autónoma	Potencial de energía térmica útil (kWh/año)	*Media de consumo de calefacción por hogar (kWh/año)	Potencial de hogares calefactados solo con combustión con hueso de aceituna	*Consumo total de calefacción en hogares (MWh/año)	Potencial de % demanda de calefacción sobre total con hueso de aceituna
GALICIA	165	5.794	28	4.384.028	0,004%
P. DE ASTURIAS	-	4.612	-	1.697.003	0,000%
CANTABRIA	-	3.255	-	580.848	0,000%
PAIS VASCO	127	2.896	44	2.277.355	0,006%
NAVARRA	17.175	9.849	1.744	1.946.623	0,882%
LA RIOJA	9.507	7.435	1.279	696.629	1,365%
ARAGÓN	35.333	6.256	5.648	2.566.463	1,377%
CATALUÑA	82.867	4.742	17.475	10.555.480	0,785%
BALEARES	2.494	5.511	453	1.660.622	0,150%
CASTILLA Y LEÓN	3.806	13.126	290	9.144.027	0,042%
MADRID	16.784	5.674	2.958	11.659.885	0,144%
CASTILLA-LA MANCHA	324.299	10.889	29.782	4.980.986	6,511%
C. VALENCIANA	70.045	3.689	18.988	5.392.373	1,299%
MURCIA	28.804	3.672	7.844	1.291.970	2,229%
EXTREMADURA	165.021	6.427	25.676	1.661.486	9,932%
ANDALUCÍA	3.283.394	4.847	677.408	9.613.780	34,153%
<b>TOTAL ESPAÑA</b>	<b>4.040.100</b>	<b>5.117</b>	<b>789.616</b>	<b>70.109.558</b>	<b>5,763%</b>

\* Valores medios de las estadísticas de datos publicados por el proyecto SECH- SPAHOUSEC I

Tabla 9 - Potencial de combustión de hueso de oliva para demanda de calefacción en España por Comunidades Autónomas.

Como se puede observar, son 789.616 viviendas las que podrían satisfacer su demanda de calefacción mediante calderas de biomasa con la exclusividad del aporte del triturado de hueso de oliva local (en la misma comunidad autónoma) como combustible suponiendo un 5,76% del total del consumo de energía total.

Destaca entre todas, la comunidad autónoma de Andalucía donde se encuentra el mayor porcentaje de viviendas calefactables en potencia (677.408, 85,7% del total) con una capacidad de satisfacer el 34,15% del consumo energético de calefacción de toda la comunidad.

Además, y aunque no es objeto de este estudio, las plantaciones de olivos producen otros restos de biomasa aprovechable procedente de la poda del olivo.

Si se añade la posibilidad de aprovechar todos estos restos de biomasa se podría acercar, en Andalucía, al 50% de las necesidades de combustible para calefacción.

### 3. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PRECIO DE HUESO DE OLIVA

El precio del residuo de triturado de hueso de oliva en España ha variado en función de la producción anual de oliva así de como su estado y nivel de demanda.

Se trata de un residuo especial ya que mientras que otros residuos procedentes de actividades industriales no suelen tener valor final (habitualmente hay que pagar por su gestión) la viabilidad del hueso de oliva como combustible barato para calderas de biomasa hacen que sea bastante requerido y se puede comercializar en los mercados a un determinado precio.

En la siguiente figura se puede ver la evolución anual de los precios del hueso de oliva según el Índice de precios de hueso de oliva para uso doméstico [50] en España publicado por AveBiom para el cuarto trimestre del año 2022.

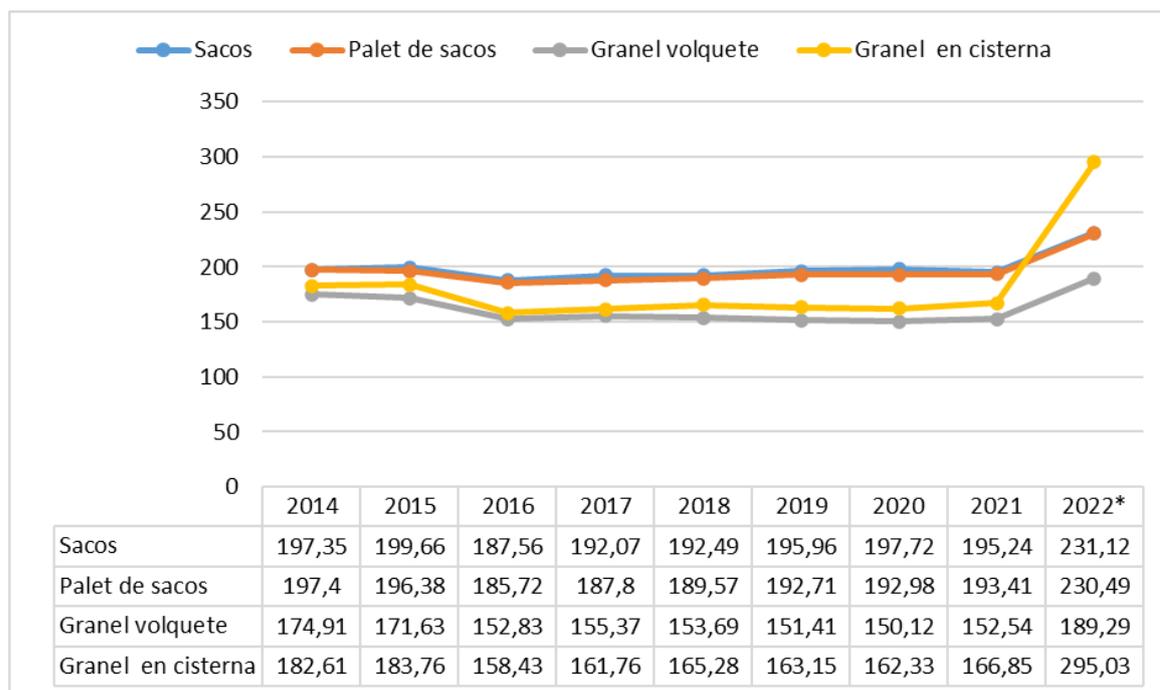
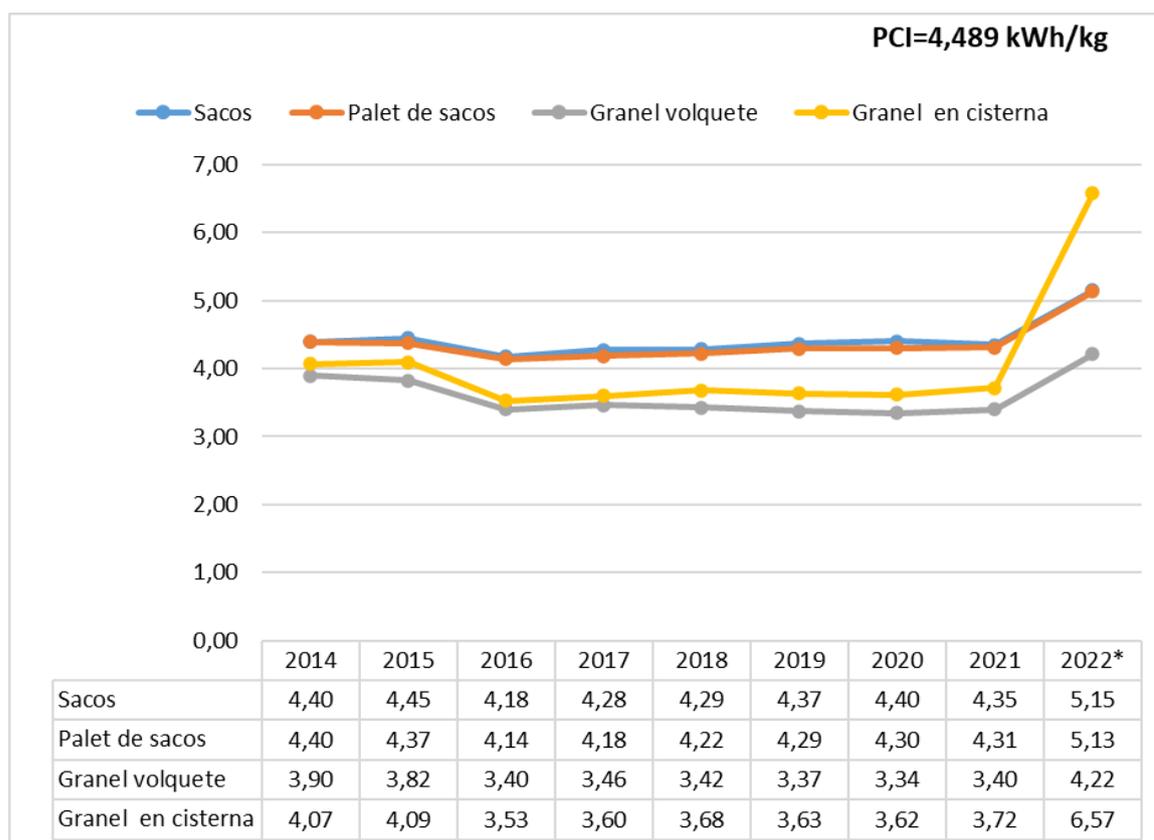


Ilustración 5 - Evolución de media del precio anual por tonelada de hueso (€/tn) de oliva en España.

En la siguiente figura se puede observar su evolución del precio (€ cent) por kWh de energía. Estos precios medios a consumidor final incluyen el 21% de IVA y un transporte medio de 200 km en formato a granel.

Las clases de huesos de oliva considerados son las correspondientes a las clases A1 y A2 de la norma española para el hueso, UNE-164003 [51].



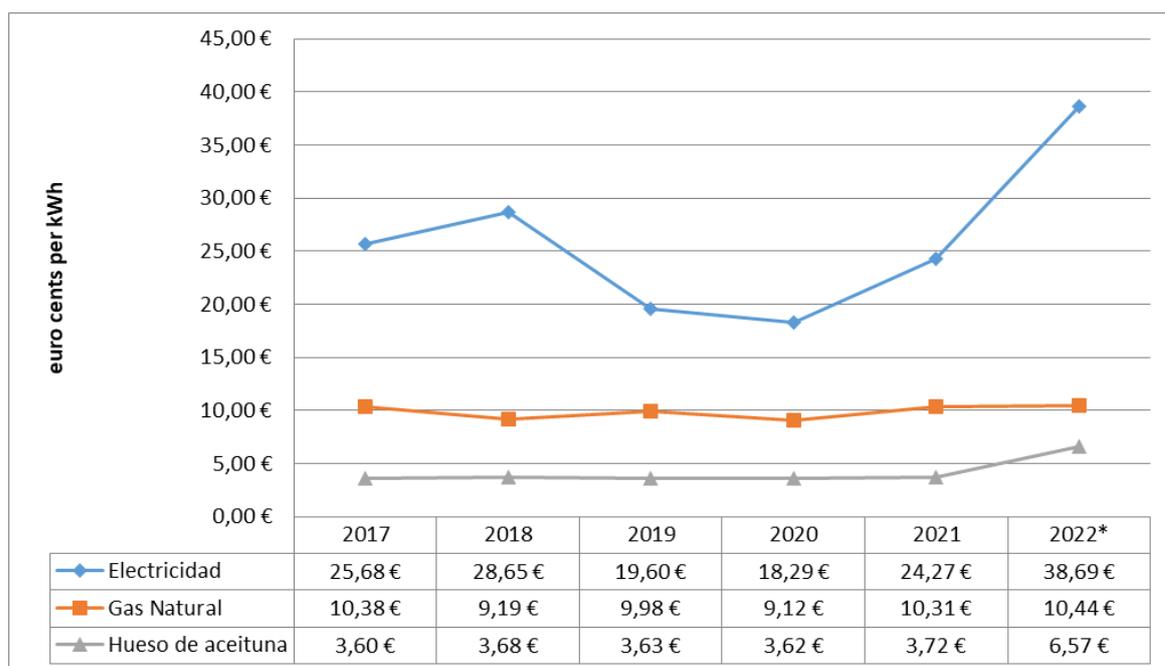
*Ilustración 6 - Evolución de media del precio anual del precio (€cents) del kWh del hueso de oliva en España.*

El triturado de hueso de oliva es, por tanto, un recurso energético barato si se compara con otros habituales para satisfacer la demanda de calefacción como pueden ser la electricidad (aeroterminia, radiadores eléctricos) o el gas natural (calderas).

Bajos impuestos en la actualidad, alta oferta cerca de en zonas de plantaciones y su consideración inicial como residuos favorecen precios económicos para los consumidores finales.

En la siguiente figura se puede ver la evolución de los precios por kWh de electricidad, gas natural según tarifa regulada y hueso de oliva.

Tanto gas como electricidad incorporan habitualmente un 21% de impuesto de valor añadido y un 22% de incremento de costes fijos (término de energía...) para obtener valores de consumidor final. Los datos de 2022 para electricidad y gas están obtenidos solamente de los primeros seis meses, los últimos aportados por EUROSTAT en 2022.



*Ilustración 7 - Evolución de precios medios en España del kWh de energía primaria de electricidad, gas natural según datos de EUROSTAT y hueso de oliva (periodo 2017-2022).*

Como se puede ver el coste del hueso de oliva es bastante más barato que cualquiera de las otras dos fuentes de energía.

En cuanto a la evolución de los precios del año 2022, no se pueden considerar demasiado representativos debido a la nueva coyuntura geopolítica internacional generada por la guerra de Ucrania, lo que ha generado grandes fluctuaciones en los precios de la mayoría de los combustibles.

En este sentido, el precio del triturado de hueso de oliva prácticamente se ha duplicado en 2022, debido a un aumento importante de las compras de estufas y calderas de biomasa y la demanda de pellet, hueso de oliva o leña para calefacción. Algo parecido ha sucedido también con la electricidad y con el gas (este último no se aprecia porque los precios regulados de las tarifas del gobierno han amortiguado la subida que si se he

producido en el mercado libre). Es de suponer que, al reposar la inestabilidad actual internacional, los precios vuelvan a seguir una tendencia más natural.

Aun así, es muy complicado pronosticar un valor de incremento anual medio de los precios de los combustibles, necesario a efectos de cálculos de rentabilidad económica futura utilizados en el análisis de viabilidad económica.

A estos efectos, se opta por una opción conservadora en cálculo y tan solo se prevé una subida anual media de un 3% para las 3 fuentes de energía a estudio:

- Electricidad
- Gas natural
- Hueso de oliva.

El precio base de cálculo para cada una de las fuentes de energía que se utiliza es el del año 2021, por ser un valor también más conservador y por eliminar el ruido generado por la coyuntura energética europea actual derivada del 2022:

- 24,27c€/kWh eléctrico
- 10,31 c€/kWh de gas
- 3,72 c€/kWh de biomasa de hueso de oliva



---

**EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA  
NORMATIVA DE EFICIENCIA  
ENERGÉTICA EN EDIFICACIÓN EN  
EUROPA Y ESPAÑA**

## 1. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIÓN: ANTECEDENTES HISTÓRICOS

### 1.1. HASTA 1979

Se puede decir que hasta 1975 la legislación normativa española en materia de eficiencia energética era prácticamente nula.

El único texto que referencia a este tema es la Orden de 20 de mayo de 1969 por la que se aprueba la adaptación de las ordenanzas- técnicas y normas constructivas, aprobadas por Orden de 12 de julio de 1955 y 22 de febrero de 1968, al texto refundido y revisado de la Legislación de Viviendas de Protección Oficial y su Reglamento.

Esta orden regula el aislamiento térmico de las viviendas de protección, proporcionando unos valores máximos de conductividad térmica para los muros y cubiertas de las dos zonas climáticas en las que dividía a nuestro país, algo más exigentes que los que proponía la ordenanza de 1955 e incluso también incluía algunas recomendaciones sobre la orientación de las viviendas.

### 1.2. NBE-CT-79 E INSTRUCCIONES TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS

La crisis del petróleo en el año 1973 y su contexto de encarecimiento de la energía se convirtió en un gran aviso y puso la primera piedra en la construcción de un desarrollo normativo dirigido en principio a reducir el consumo de calefacción en los edificios de nueva construcción.

La aprobación del Real Decreto 1490/75 por el que se establecen medidas a adoptar en las edificaciones con objeto de reducir el consumo de energía generó una comisión integrada por representantes de organismos públicos y empresas del sector energético, que finalmente redactaría la Norma Básica de Aislamiento Térmico en la Edificación que se aprobó en el año 1979 y que supone el primer gran hito en la normativa energética de construcción en España.

Estas normas se regulan en el Real Decreto 2429/79 por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 [52], sobre Condiciones Térmicas en los edificios. A partir de este momento, los edificios quedan definidos térmicamente por el coeficiente  $K_G$  de transmisión global de calor del edificio y los coeficientes  $K$  de transmisión de calor de sus cerramientos, en función de cinco zonas climáticas.

En el año 1980 se aprobó la norma de instalaciones que complementa la de construcción de edificación mediante el Real Decreto 1618/1980 “Reglamento de instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria” (RICCACS) [53].

Este decreto regulaba las nuevas condiciones para instalación térmicas en nueva edificación buscando reducir el estructural aumento de consumo de energía, consecuencia directa de la mejora en el nivel de vida, además de mejorar otros aspectos como confort, calidad, seguridad y medio ambiente.

Y en el año 1981 se completó este primer paquete normativo en España con la aprobación por Orden de la Presidencia del Gobierno, de 16 de julio de 1981, de las Instrucciones Técnicas Complementarias.

De todas estas instrucciones, son la IT.IC.04 y la IT.IC. 26 las que más valor aportan al contexto energético.

En concreto, la IT.IC.04, que fija exigencias de rendimiento y ahorro de energía tales como requisitos de rendimiento mínimo de calderas y de eficiencia de los sistemas frigoríficos, fraccionamiento de potencia para la producción de calor o frío, recuperación de energía, enfriamiento gratuito por aire exterior, aislamiento térmico, regulación, interrupción del servicio, limitación de la calefacción eléctrica y contadores obligatorios para la medición del consumo de agua caliente sanitaria

Por otra parte, la IT.IC. 26 a las instalaciones existentes, fijando plazos para su adaptación de forma que cumplan con algunos de los requisitos que ya se exigen a las instalaciones nuevas como aislamiento térmico de tuberías y equipos, regulación y control o la implantación de contadores individuales de agua caliente.

Las nuevas edificaciones españolas proyectadas desde 1981 hasta 2006 se han construido por tanto bajo los parámetros de las normas básicas de la edificación NBE-CT-79 y sus instrucciones técnicas complementarias y el reglamento RICCACS para instalaciones.

### 1.3. DIRECTIVAS EUROPEAS 92/42/CEE Y 93/76/CEE

Durante 25 años la NBE-CT-79 y sus Instrucciones Técnicas Complementarias fueron la norma de regulación en España de la eficiencia energética tanto en la construcción de edificios como en la gestión de la eficiencia en las instalaciones térmicas según RICCACS-1980 primero y el primer Reglamento de Instalaciones Térmicas de edificios (1998) después.

Aun así, la entrada de España en la Unión Europea supone un reto importante debido al cambio de titularidad de la política energética que pasa a estar dirigida desde 1985 por la publicación de directivas que establecen los objetivos comunes a cumplir por todos los países de la Unión Europea.

La primera directiva de este nuevo marco fueron la Directiva 92/42/CEE, relativa a los requisitos de rendimiento para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos, modificada por la Directiva 93/68/CEE del Consejo y traspuesta a la legislación español por el Real Decreto 275/1995 que fijaba ya ciertos niveles de rendimientos a potencia nominal y a carga parcial de las calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos.

Y la segunda directiva fue la Directiva 93/76/CEE, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE) que fue traspuesta a la normativa española por el primer Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE) por el Real Decreto 1751/1998 donde entre cosas se empieza a regular:

- La facturación de los gastos de calefacción y climatización de forma proporcional al consumo real de cada usuario
- Obligación de realizar inspecciones periódicas a las calderas de potencia superior a 15 kW.

También a raíz de esta Directiva se desarrolla por el Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Sevilla en 1999 el primer procedimiento de calificación energética de viviendas, aunque de carácter opcional.

## 1.4. DIRECTIVA 2002/91/CE Y REAL DECRETO 314/2006 (PRIMER CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN)

La aprobación de la Directiva 2002/91/CE,[54] de eficiencia energética de los edificios, supuso el inicio de un cambio regulatorio en la Unión Europea que persiste todavía en la actualidad.

Esta Directiva estableció los siguientes puntos de aplicación para edificios:

- Metodología de cálculo de la eficiencia energética integrada

- Aplicación de requisitos mínimos de eficiencia energética para los edificios nuevos y existentes que sufrieran reformas importantes
- Certificación energética de edificios
- Inspección periódica de calderas y sistemas de aire acondicionado y la evaluación del estado de las instalaciones de calefacción de más de 15 años.

En España y en toda Europa tuvo un gran efecto puesto que fue la base del primer gran decreto de legislación energética edificatoria española reciente:

- Real Decreto 314/2006: Primer Código Técnico de la Edificación (CTE) de 2006 [55] conforme con la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación.
- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio [56], por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios que sustituye al Real Decreto 1751/1998 con el fin de trasponer los requisitos mínimos de eficiencia energética que debían cumplir las instalaciones térmicas de los edificios nuevos y existentes y realizar la inspección periódica de calderas y de los sistemas de aire acondicionado.
- Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, [57] por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción mediante el programa informático CALENER.

A partir de este momento, el Documento Básico de Ahorro de Energía del CTE se conforma como el texto legal principal en eficiencia energética de construcción en España con 5 grandes bloques:

- HE1: Limitación de la demanda energética de calefacción y refrigeración mediante la envolvente térmica del edificio (con la aplicación informática LIDER).
- HE2: Rendimiento de las instalaciones térmicas (desarrollado en el RITE),
- HE3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación
- HE4: Obligación de una contribución solar térmica mínima de agua caliente sanitaria
- HE5: Contribución fotovoltaica mínima.

Los programas LIDER y CALENER anteriormente enunciados serán el embrión del que actualmente se desarrolla la Herramienta Unificada LIDER-CALENER con el que se ha desarrollado la simulación.

Todavía en este periodo de desarrollo normativo el RITE se modificó a través del Real Decreto 1826/2009, para limitar las temperaturas a mantener en el interior de los establecimientos de edificios y locales climatizados destinados a usos administrativos, comerciales, culturales, de ocio y en estaciones de transporte, con el fin de reducir su consumo de energía, así como otras medidas en el ámbito de la eficiencia energética-

## 1.5. DIRECTIVA 2010/31/UE Y LA ORDEN FOM/1635/2013 (SEGUNDO CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN)

En 2010 se desarrolló la nueva Directiva 2010/31/UE, [58] que sustituyó a la Directiva 2002/91/CE modificando y ampliando el nivel de eficiencia energética de los edificios generando:

- Metodología de cálculo de la eficiencia energética integrada de los edificios
- Nuevos requisitos mínimos de eficiencia energética a los edificios nuevos y existentes
- Concepto de edificios de energía casi nulo (NZEB)
- Certificación energética de los edificios generalizada
- Nuevas condiciones para la inspección periódica de las instalaciones de calefacción y aire acondicionado.

Esta nueva norma europea volvió a ser traspuesta al panorama legislativo español.

Primero con el Real Decreto 235/2013, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios en este caso tanto para edificios nuevos como existentes y derogando el anterior Real Decreto 47/2007.

En segundo lugar, y ya en el año 2013, la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, actualizó el Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006 y transpuso parcialmente: la Directiva 2010/31/UE en lo relativo a los requisitos de eficiencia energética de los edificios.

Este nuevo Código Técnico de la Edificación añade una nueva sección al Documento Básico de Ahorro de Energía que pasa a denominarse

- HE0: Limitación del consumo energético.

El resto de las secciones sufren también modificaciones.

Además, también el nuevo CTE transpone la Directiva 2009/28/CE a los edificios españoles en lo relativo a la exigencia de niveles mínimos de energía procedente de fuentes renovables.

Esta modificación tuvo también incidencia en los pioneros programas LIDER y CALENER mediante la unificación en un solo programa denominado Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) y cuyo uso permite la verificación de las exigencias 2.2.1 de la sección HE0, 2.2.1.1 y punto 2 del apartado 2.2.2.1 de la sección HE1 del Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE. Además, también permite la verificación del apartado 2.2.2 de la sección HE0 que debe verificarse, tal como establece el DB-HE, según el procedimiento básico para la certificación energética de edificios.

## 1.6. DIRECTIVA 2010/31/UE Y ORDEN FOM/588/2017 (TERCER CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN)

En esta situación, en el año 2017 se vuelve a modificar el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico del año 2013 con la Orden FOM/588/2017 pero adaptándolo no a esta nueva norma sino completando la Directiva 2010/31/UE ya que según otro Dictamen motivado de la Comisión Europea que consideraba incorrecta la trasposición de España de la Directiva 2010/31/UE, y tiene los siguientes objetivos concretos:

- Adaptar su contenido a lo establecido en la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 de eficiencia energética de los edificios.
- Converger con el procedimiento para la certificación energética de edificios definido en el Documento Reconocido de "Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios".

El desarrollo de esta modificación en el tiempo es muy escaso debido a la existencia ya de la nueva directiva europea del 2012 y la necesidad obligatoria de transponerla a la legislación española en un corto plazo de tiempo.

Aun así, por ejemplo, esta modificación de los Documentos Básicos DB-HE y DB-HS del CTE, modifica el software Herramienta Unificada LIDER-CALENER actualizándolo de nuevo.

## 1.7. DIRECTIVA 2010/31/UE Y REAL DECRETO 732/2019 (CUARTO CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN)

En el año 2019 ha vuelto a modificar el Código Técnico de la Edificación mediante el Real Decreto 732/2019 de 20 de diciembre de 2019[10]

Ya en la primera página de este decreto se puede leer, "la Directiva (UE) 2018/844 [11] no es objeto de transposición en este Real decreto".

Esta cuarta y más actual modificación del Código Técnico de la Edificación El Documento revisa y actualiza las exigencias reglamentarias de eficiencia energética de los edificios en cumplimiento de lo establecido por la Directiva 2010/31/UE, que establece la obligación de realizar esta revisión periódicamente.

El nuevo "Documento Básico de Ahorro de Energía (DBHE)" tiene como grandes objetivos estratégicos:

- Alta eficiencia energética en la construcción de nuevos edificios mejorando la calidad de las envolventes térmicas
- Mayor contribución de energía procedente de fuentes renovables
- Desarrollo de tecnologías más eficientes y sostenibles.
- Reducción del consumo de energía primaria de fuentes de energía no renovable.

De esta modificación se ha desarrollado una nueva versión de la Herramienta Unificada LIDER-CALENER que se encuentra en fase voluntaria hasta el 28 de Junio de 2020 y que permite la verificación del DB-HE 2019 (2.0.1960.1156 de 29 de enero de 2020) en las secciones:

- Apartados 3.1 y 3.2 de la sección HE0;
- Apartados 3.1.1.3, 3.1.1.4, 3.1.2 y 3.1.3.3 de la sección HE1;

- Apartados 3.1 de la sección HE4;
- Apartados 3.1 de la sección HE5.
- Certificación energética de edificios nuevos y existentes

## 1.8. DIRECTIVA 2012/27/UE

En el año 2012 se sustituyó la Directiva 2010/31/UE por la nueva Directiva 2012/27/UE [59] de Eficiencia Energética que se desarrolló parcialmente en España a través del Real Decreto 56/2016 en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía, definiendo mejor el concepto de edificio de consumo de energía casi nulo con nuevas exigencias reglamentarias.

Aun así, esta Directiva no fue desarrollada completamente y la Comisión Europea decidió llevar a España ante el Tribunal de Justicia de la Unión Europea por no garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos en la Directiva relativa a la eficiencia energética en relación con los contadores individuales de consumo en los edificios de apartamentos y edificios polivalentes.

## 1.9. DIRECTIVA 2018/844/UE Y DIRECTIVA 2018/2002/UE

En julio de 2018 entró en vigor la tercera directiva (UE) 2018/844 [11] de eficiencia energética de edificios que sustituye a la Directiva 2012/27/UE y cuyo plazo de trasposición a los diferentes estados de la Unión finalizó el 10 de marzo de 2020 quedando pendiente hoy en día en España de modo que todavía su regulación será objeto futuro de una nueva modificación.

Esta directiva perfecciona y regula el concepto de Edificio de Energía Casi Nulo (EECN o NZEB en inglés) obligando a integrar el autoconsumo, calefacción y refrigeración eficientes, aplicaciones inteligentes para gestionar la demanda energética y la recarga del vehículo eléctrico, instalaciones técnicas de los edificios...

Se pretende de esta forma reducir drásticamente la demanda energética del edificio al mínimo y que la poca energía que necesite se genere con autoconsumo y renovables en el propio edificio o en el entorno.

En julio de 2016 la Comisión Europea publicó la Recomendación (UE) 2016/1318 que estableció los requisitos que deben de cumplir los edificios de consumo de energía casi

nulo en Europa aumentando hasta un porcentaje entre el 50% y el 100% de la “demanda de energía primaria” cubierto con propias energías renovables.

Por su parte, la Directiva 2018/2002 [60] de Eficiencia Energética tiene como objetivo principal establecer medidas para mejorar la eficiencia energética en la Unión Europea. Entre sus puntos destacados, se encuentra la fijación de objetivos vinculantes para reducir el consumo de energía primaria y fomentar la eficiencia en diferentes sectores, como el transporte, la industria y los edificios.

La directiva también promueve la realización de auditorías energéticas regulares en grandes empresas, la promoción de medidas de eficiencia en los servicios públicos y busca impulsar la eficiencia en la distribución y suministro de energía, fomentando la integración de energías renovables y tecnologías limpias.

## 1.10. RESUMEN ACTUALIZACIONES NORMA EDIFICACIÓN EN ESPAÑA

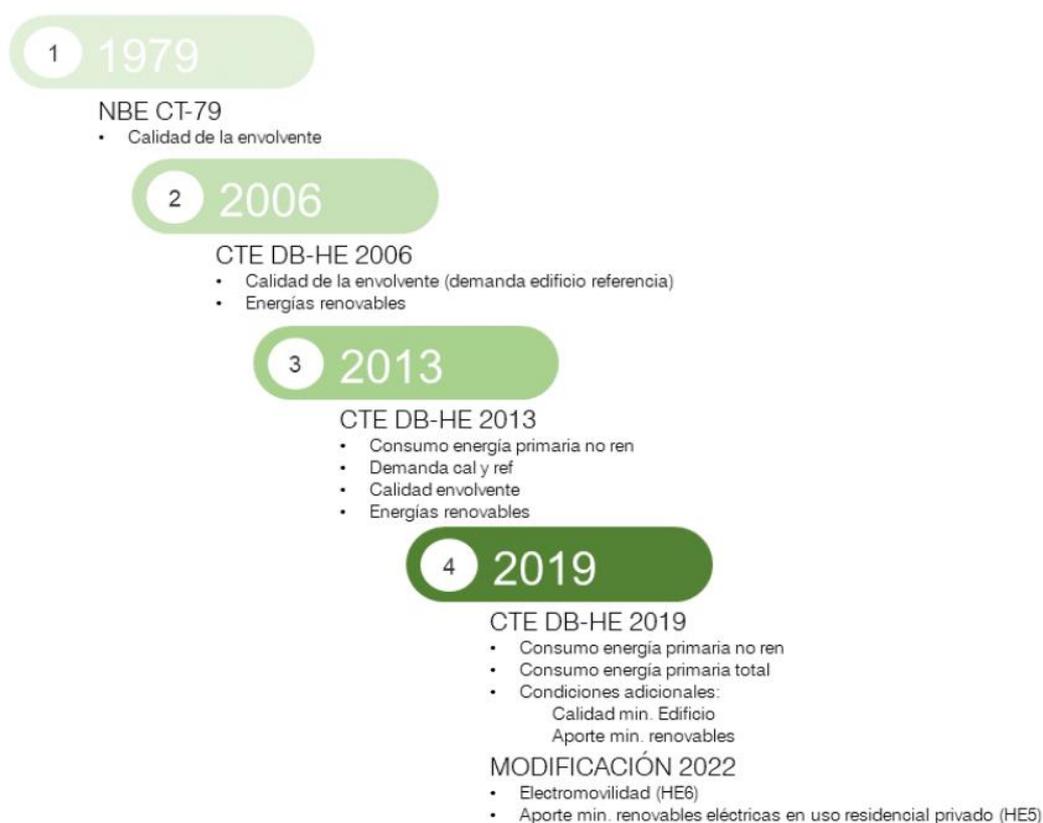


Ilustración 8 - Resumen de normativas de eficiencia energética en edificación en España.

Según la “Guía de aplicación del DBHE2019” del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja [61].

## 1.11. FUTURA DIRECTIVA EUROPEA EN EDIFICACIÓN: OBJETIVO 2030 Y 2050

En los últimos informes conocido de la Comisión Europea (mayo 2023) se especifica que, actualmente, los edificios representan el 40% de todo el consumo energético en la Unión Europea y el 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los métodos más comunes para calefaccionar edificios en la actualidad son las calderas de gas natural (42%) y de petróleo (14%). Además, la mayoría de los inmuebles existentes no son energéticamente eficientes, con un estimado del 75% en esta situación.

Para abordar esta problemática, las autoridades europeas han propuesto una Directiva que se espera entre en vigor aproximadamente en 2025, con el objetivo de que todos los edificios de la Unión Europea sean de emisiones cero para el año 2050.

Esta Directiva propuesta establece un plan para que todos los edificios alcancen niveles más altos de eficiencia en 2030, 2040 y 2050. Para lograr esto, se considera esencial acelerar los incentivos para la renovación energética de edificios y establecer criterios más exigentes en eficiencia para las nuevas construcciones. La inversión en rehabilitación se recupera rápidamente gracias al ahorro de energía obtenido a través de una mejor aislación.

En relación con las construcciones nuevas, se plantean las siguientes fechas:

- A partir de 2026, todos los edificios públicos deberán ser de emisiones cero.
- A partir de 2028, el resto de los edificios nuevos, incluidos los destinados a viviendas, deberán tener emisiones cero.

También los estados miembros deberán implementar medidas administrativas para fomentar la renovación profunda de los edificios existentes antes del 1 de enero de 2027.

Estos incentivos son necesarios para cumplir con el calendario propuesto para los edificios residenciales:

- A partir del 1 de enero de 2030, todas las casas deberán tener una etiqueta energética de clase E.
- A partir del 1 de enero de 2033, todos los edificios de viviendas deberán alcanzar al menos la letra D en la etiqueta.

Después de la transposición de la Directiva, no se podrán instalar sistemas de calefacción que utilicen combustibles fósiles en ningún edificio nuevo. Tampoco se permitirá su instalación en caso de una renovación importante o cambio del sistema de calefacción en un edificio existente.

El uso de combustibles fósiles será eliminado progresivamente en todos los edificios antes de 2035 (si no es factible, se puede solicitar una moratoria hasta 2040).

En resumen, esto significa que las calderas de gas serán reemplazadas por otros sistemas, como aerotermia o calderas de hidrógeno, cuando se vuelvan obsoletas. En la actualidad, existen incentivos para cambiar los sistemas actuales basados en gas o petróleo por calefacciones con energía renovable.



---

## **METODOLOGÍA: RESUMEN**

## 1. RESUMEN METODOLÓGICO

El desarrollo de la tesis se basa en la siguiente estructura metodológica:

- Metodología experimental: Realización de ensayos
  - o Realización de celdas de mortero dopado con caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) para comprobar la mejora en la propiedad de aislamiento térmico.
  - o Realización de probetas de mortero dopado con hueso de oliva para medición de la conductividad térmica.
- Metodología de evaluación de la sostenibilidad energética de la utilización de ladrillos tipo GERO de mortero con dopado de triturado de hueso de oliva para construcción de nuevos edificios residenciales en España.
  - o Simulación energética con un edificio residencial nuevo de referencia en múltiples zonas climáticas de España para comprobar los valores de reducción de demanda de energía para climatización por m<sup>2</sup> de fachada.
- Metodología de evaluación de la sostenibilidad económica de la adición de residuo de triturado de hueso de oliva para fabricación de ladrillos tipo GERO.
  - o Análisis de viabilidad económica VAN-TIR
- Metodología de evaluación de la sostenibilidad ambiental de la adición de residuo de triturado de hueso de oliva para fabricación de ladrillos tipo GERO.
  - o Análisis de ciclo de vida ambiental (ACV)
- Metodología de evaluación de la sostenibilidad social de la adición de residuo de triturado de hueso de oliva para fabricación de ladrillos tipo GERO.
  - o Análisis de ciclo de vida social (ACV-S)

## 1.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL: REALIZACIÓN DE ENSAYOS E HIPÓTESIS DE TRABAJO

Una vez planteada la línea principal de la investigación derivada de la evaluación de la sostenibilidad en la utilización de residuos para dopado de materiales de construcción se procede a realizar varios ensayos con distintos residuos para valorar la efectividad térmica de los nuevos productos.

Para ello se realizan dos tipos de ensayos:

- Ensayo experimental de realización de celdas de mortero dopado con triturado de caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) para valorar y comprobar la mejora en la propiedad de aislamiento térmico.
- Ensayo estandarizado según UNE-EN12939:2001 mediante fabricación de probetas de mortero dopado con triturado de hueso de oliva para medición del parámetro de conductividad térmica.

En ambos casos se plantea el análisis de manera integral con el objetivo de obtener información no sólo térmica sino también mecánica (resistencia a compresión) e incluso acústica, aunque la investigación de la presente tesis sólo utiliza los datos que afectan a las propiedades que tienen que ver con el aislamiento térmico.

Es por este motivo, por el que se descarta la utilización de dopados superiores al 30% ya que las nuevas propiedades de resistencia mecánica no son suficientes para su empleo en construcción [62].

Se constata, de manera fehaciente, que la adición de estos triturados de residuos tiene efectos positivos sobre la mejora de aislamiento térmico del nuevo material dopado y en el caso del triturado de hueso de oliva se obtienen los valores de conductividad térmica del producto dopado en comparación con los del mortero con árido convencional.

Tras valorar los ensayos realizados con los dos residuos (triturado de neumáticos fuera de uso y de hueso de oliva) se plantea como hipótesis fundamental de esta tesis una metodología para evaluar la sostenibilidad energética, económica, ambiental y social de utilizar ladrillos de mortero tipo GERO en la construcción de nuevos edificios residenciales en España que incorporan una adición de triturado hueso de oliva como reemplazo del árido convencional.

Se decide seguir la línea del triturado de hueso de oliva en vez del neumático fuera de uso por dos razones principales: mayor disponibilidad del residuo a nivel local y menor coste económico.

## 1.2. EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

En el siguiente paso se plantea realizar una simulación energética mediante el software oficial para certificación energética de edificios por el procedimiento general “Herramienta Unificada Líder Calener (HULC) que permita cuantificar el ahorro en la demanda de energía de calefacción y refrigeración que tiene la incorporación del triturado de hueso de oliva tanto en el mortero convencional como en la utilización de ladrillos GERO para la construcción de un edificio nuevo en España.

Para esta tarea, en primer lugar, se plantea diseñar una tipología de edificio residencial entre medianeras que cumpla con las especificaciones actuales de eficiencia energética para la envolvente térmica (transmitancias máximas de los distintos elementos...) que se recogen en el Real Decreto 732/2019 (Código Técnico de la Edificación) [10] para todas las diferentes combinaciones de zonas climáticas en España.

Se estudian, inicialmente, 28 localizaciones distintas (tantas como provincias que han sufrido cambios de caracterización climática con las distintas normas de edificación), aunque, posteriormente, se llega a la conclusión de que apenas hay diferencia entre muchas de ellas y se opta por simplificar el modelo a las 5 principales zonas climáticas fijadas para invierno (A, B, C, D, E) según el propio Código Técnico de la Edificación [10] ya que son estas las que realmente generan diferencias en la demanda de energía de los edificios.

Las localidades que se plantean desde este momento son:

- Zona A: Almería
- Zona B: Sevilla
- Zona C: Barcelona
- Zona D: Logroño
- Zona E: Soria

Finalmente se realizan múltiples simulaciones térmicas que permiten comparar la demanda del edificio de referencia con una capa exterior de mortero de 3cm y dos hojas de ladrillo GERO de 11,5cm cada una de tipo convencional (con árido) con la misma

tipología de fachada con ladrillos dopados con distintos porcentajes de dopado entre el 5% y el 30%.

En la simulación energética realizada se puede comprobar una reducción de la demanda de energía para climatización por m<sup>2</sup> de fachada lo que permite avanzar en los siguientes puntos.

Aun así, en este punto se opta también por descartar los dopados superiores al 15% puesto que el periodo de recuperación energética con respecto a la energía generada por esa misma cantidad de triturado de hueso de oliva como combustible para calderas de biomasa supera en años la vida útil de un edificio por lo que no resultaría rentable.

### 1.3. EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA, AMBIENTAL Y SOCIAL

Por último y ya satisfecha la justificación de la viabilidad energética para dopados entre el 5% y el 15% se realiza un estudio de la viabilidad económica, ambiental y social de la adición de residuo de triturado de hueso de oliva para fabricación de ladrillos tipo GERO.

El análisis de viabilidad económica se realiza mediante el cálculo del VAN-TIR a 25 y 50 años, ajustando los precios de las fuentes de energía actuales junto con un incremento anual del 3%. En este análisis se percibe (debido a la dificultad a asegurar los precios futuros) que, con un ligero incremento del precio de la electricidad, del gas o de la biomasa la utilización a tiempo de presente de un ladrillo algo más caro permitiría obtener réditos económicos a largo plazo de manera más rápida incluso que su viabilidad energética.

El análisis de ciclo de vida ambiental (ACV) se realiza siguiendo las normativas ISO 14040 e ISO 14044 permite realizar una evaluación medioambiental del ladrillo tipo GERO. Con este análisis se pretende dar conocimiento de los impactos medioambientales que se producen al utilizar ladrillos del tipo GERO en una edificación.

Por último y para completar el estudio se realiza un análisis de ciclo de vida social (ACV-S) que permite determinar la aceptación y percepción de estos ladrillos por parte de la comunidad y los actores involucrados en el sector de la construcción. Se exploran los beneficios sociales que podrían derivarse de la utilización de estos ladrillos, como la creación de empleo local, el fomento de prácticas sostenibles y la promoción de la conciencia ambiental.



---

**METODOLOGÍA EXPERIMENTAL  
PARTE 1: COMPROBACIÓN DE LA  
REDUCCIÓN DE CONDUCTIVIDAD  
TÉRMICA DEL MORTERO DE  
CEMENTO CON LA ADICIÓN DE  
RESIDUOS DE CAUCHO**

## 1. RELACIÓN DEL DOPADO DE MATERIALES AL MORTERO Y LA REDUCCIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Como ya se ha explicado con anterioridad, la adición de ciertos materiales al mortero de cemento puede contribuir a la reducción de la propiedad de conductividad térmica de los materiales, según múltiples estudios publicados.

Esto se debe, principalmente, a las propiedades aislantes de dichos materiales (no todos son aislantes) y su capacidad para atrapar aire en la mezcla.

Sin embargo, es muy importante destacar que la proporción y la calidad de los materiales agregados al mortero, así como la correcta dosificación y mezcla, son factores clave para lograr una reducción efectiva de la conductividad térmica.

En este primer ensayo experimental realizado in situ en las instalaciones de Vigas Mazo en Calahorra (polígono industrial Tejerías Sur - C/Torrecilla), se busca confirmar la afirmación de que la construcción de edificios utilizando materiales de mortero y hormigón con agregado de caucho proveniente de neumáticos en desuso (NFU) presenta un mejor aislamiento térmico en comparación con una construcción convencional.

Para conseguir este objetivo, se realiza a cabo una simulación térmica mediante un ensayo experimental real que permite obtener conclusiones sólidas al respecto.

Dicha simulación consiste en evaluar y comparar el comportamiento térmico de dos estructuras similares, una construida con materiales de mortero y hormigón dopado con caucho (10 y 20%) y otra construcción convencional sin la presencia de caucho.

Se miden y analizan diversos parámetros, como la temperatura interior y exterior de las estructuras, los flujos de calor y los gradientes de temperatura a lo largo del tiempo.

Los datos obtenidos respaldan la teoría de que el uso de caucho en los materiales de construcción mejora el aislamiento térmico de la estructura, lo cual puede tener implicaciones positivas en términos de eficiencia energética, reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y ahorro de energía.

Cabe destacar que este ensayo experimental proporciona resultados bastante representativos y cercanos a las condiciones reales de una construcción, lo que fortalece la evidencia de los beneficios del uso de materiales de mortero y hormigón dopado con caucho en términos de aislamiento térmico.

Todas las directivas sobre eficiencia energética aprobadas por la Unión Europea se centran en la sostenibilidad medioambiental como uno de sus pilares fundamentales.

En este sentido, la adición de partículas de caucho en el mortero u hormigón a utilizar en las envolventes de los edificios puede proporcionar una clara mejora en el aislamiento térmico, lo que conlleva una doble ventaja.

En primer lugar, se espera una reducción lógica de la demanda de energía en los edificios construidos con estos elementos, lo que resulta en una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> y en un ahorro energético significativo.

Por otro lado, no se puede pasar por alto el hecho de que el material utilizado, las partículas de caucho, proviene de neumáticos en desuso (NFU). Esta aplicación ofrece una oportunidad muy interesante para dar un nuevo valor a un residuo abundante que hasta ahora ha sido difícil de revalorizar.

En los siguientes puntos se explica con mayor detalle este ensayo.

## 2. REDUCCIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL CEMENTO CON DOPADO DE CAUCHO

La industria de la construcción ha mostrado un creciente interés en la utilización de neumáticos usados como parte de la fabricación del hormigón. Esta tendencia se debe tanto a las necesidades de la industria como a la disponibilidad abundante de neumáticos desechados. En los últimos años, se han llevado a cabo diversos estudios para investigar cómo la incorporación de estos residuos puede mejorar el comportamiento térmico del hormigón. [62], [63], [64], [65], [66], [67].

El dopado de mortero con residuos de caucho ofrece una solución prometedora para mejorar el comportamiento térmico del hormigón / mortero y reducir las pérdidas de calor en los edificios.

La técnica consiste en agregar residuos de caucho triturado a la mezcla de mortero y hormigón, reemplazando una parte del árido utilizado en la producción de la mezcla.

Al reducir la conductividad térmica del mortero u hormigón mediante el dopado con caucho, se puede lograr una mejora en la eficiencia energética de los edificios, ya que se reducen las pérdidas de calor a través de los materiales de construcción.

Como ya se ha comentado, esta mejora del aislamiento térmico del hormigón aligerado con granulado de neumático se debe principalmente a la baja conductividad térmica del caucho.

El caucho tiene una conductividad térmica baja, que oscila entre 0,1 y 0,25 W/m·K, en comparación con los agregados que reemplaza, los cuales tienen una conductividad térmica alrededor de 1,5 W/m·K.

Esta diferencia en la conductividad térmica contribuye a reducir la transferencia de calor a través del hormigón, lo que resulta en una mejora del aislamiento térmico del material [68].

Sin embargo, también es cierto que la introducción de caucho en la mezcla de hormigón puede tener un impacto significativo en las propiedades mecánicas del material.

Se ha documentado ampliamente que la inclusión de caucho puede disminuir el módulo de Young y la resistencia a la compresión del hormigón. Esta reducción en las propiedades mecánicas puede limitar su utilización en aplicaciones estructurales donde se requiere una alta resistencia y capacidad de carga [69].

Dicha reducción de la resistencia a compresión en mezclas de hormigón que contienen caucho se ha atribuido a la deficiente adhesión entre las partículas de caucho y los demás componentes de la mezcla. La naturaleza del caucho y su estructura química pueden dificultar la formación de una unión fuerte y cohesiva con los materiales de la matriz del hormigón, como los agregados y el cemento [70] lo que puede resultar en un incremento del contenido de aire en el material. Este incremento del contenido de aire tiende a aumentar a medida que se incrementa la proporción de caucho en la mezcla. La presencia de aire en el hormigón puede afectar sus propiedades mecánicas y su resistencia a compresión.

Sin embargo, estudios recientes han demostrado que es posible lograr mejoras significativas en el comportamiento térmico del hormigón al incorporar hasta un 30% de partículas de caucho tratadas previamente con una solución de hidróxido sódico. Estas partículas de caucho tratadas superficialmente tienen una mayor afinidad y adhesión con la matriz de hormigón, lo que ayuda a contrarrestar la pérdida de resistencia a compresión y a mejorar las propiedades térmicas del material [62].

En los estudios previamente mencionados, se analizó el comportamiento de las mezclas de hormigón mediante la fabricación de probetas en un entorno de laboratorio. Estas pruebas son necesarias y proporcionan información esencial. Sin embargo, para obtener

un conocimiento más profundo de las características de un nuevo material, es fundamental someterlo a condiciones reales a las que estará expuesto.

En este estudio en particular, se fabrican productos comerciales de hormigón, como ladrillos macizos, bovedillas y viguetas, utilizando tres proporciones diferentes de caucho de neumático como dopado. Estos productos se fabrican a nivel industrial para replicar las condiciones de producción y obtener una representación más precisa de su desempeño real.

Además, para acercarse aún más al uso final de estos productos, se construyen tres celdas cerradas diferentes que constan de un suelo, muros laterales y techo utilizando técnicas convencionales. Estas celdas se utilizan para evaluar el efecto de la proporción de caucho en la mezcla en un entorno realista.

Este enfoque de fabricación industrial y evaluación en condiciones reales permite obtener una visión más completa de las prestaciones de los productos de hormigón modificados con caucho. También permite obtener información sobre cómo se comportan en situaciones prácticas reales y proporciona datos más relevantes para la aplicación y el uso final de los materiales.

Por último, el ensayo experimental permite identificar las dosificaciones viables [66] con el objetivo de servir de base para generar los materiales con dimensiones comerciales.

De forma paralela se obtiene información, mediante captación de la respuesta térmica, en dos épocas diferentes del año (invierno y verano).

El análisis y comparación de los datos se presenta como resultado en este trabajo.

### 3. ENSAYO EXPERIMENTAL DE COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE MORTERO DOPADO CON CAUCHO

En este ensayo experimental inicial se investiga el comportamiento térmico de diferentes elementos constructivos, como ladrillos, bovedillas y viguetas, fabricados con hormigón dopado utilizando diferentes porcentajes de partículas de caucho extraídas de neumáticos fuera de uso.

Los porcentajes de caucho evaluados son: 0%, 10% y 20%.

Los elementos constructivos fabricados con estos porcentajes de caucho se utilizan para construir tres celdas cerradas diferentes, que son sometidas a ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento.

Se registran las temperaturas tanto en el interior de las celdas como en el interior de sus componentes (paredes, techos, suelos) y los resultados revelan que el comportamiento térmico de las celdas depende del porcentaje de caucho utilizado en la mezcla de hormigón.

La incorporación de partículas de caucho puede influir, por tanto, en la transferencia de calor y en la capacidad de aislamiento térmico de los materiales.

Estos resultados son relevantes para el diseño y la construcción de estructuras que buscan mejorar el comportamiento térmico y la eficiencia energética. El conocimiento de cómo el porcentaje de caucho afecta el gradiente de temperatura proporciona información importante para la selección adecuada de mezclas de hormigón en función de los requisitos de aislamiento térmico en diferentes aplicaciones constructivas.

Los resultados obtenidos del ensayo se anexan en el capítulo de "Resultados" en el presente documento.

#### 4. MATERIALES UTILIZADOS EN EL ENSAYO

Los materiales utilizados proceden de los almacenes de una empresa colaboradora.

Se utiliza cemento Portland ASTM Type II (A-L 42.5 R) de densidad 3.150 kg/m<sup>3</sup> para preparar las mezclas.

La composición química del material, suministrado por Cementos Portland Valderrivas S.A., se reflejan en la siguiente tabla:

Material	Composición	Porcentaje (%)
Cemento	SiO <sub>2</sub>	18,05
	CaO	62,96
	MgO	2,07
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,43
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,53
	SO <sub>3</sub>	3,08
	Inquemados	5,04
Caucho	SO <sub>2</sub>	3,23
	Goma (parte polimérica)	38,3
	Contenido en agua	0,2
	Cenizas	5,43
	Acetona	7,3
	Materiales ferromagnéticos	<0,01
	Material textil	0,03
	Carbón negro	31,3
	Resto	14,21

Tabla 10 - Composición general de materiales cementosos y caucho granulado de neumáticos fuera de uso.

Los agregados finos utilizados AF-T-0/4-C, de un tamaño máximo de 4 mm, presentan una densidad de 1.634 kg/m<sup>3</sup>.

La fuente de agregado fino utilizado en este estudio es piedra caliza triturada proveniente de una cantera local.

Tras su recepción, se almacena en condiciones ambientales a una temperatura de 20°C y una humedad relativa del 55%.

Los neumáticos de automóviles fuera de uso (NFU) son fragmentados mecánicamente, y el material granulado resultante es sometido a cribado para eliminar las fibras de aluminio y textiles.

El granulado de caucho utilizado es proporcionado por la empresa Indurgarbi NFUs S.L. y se utiliza una fracción de entre 2 mm y 4 mm de tamaño de partícula [34].

La densidad de este material es de 1.150 kg/m<sup>3</sup>. Su composición química se detalla en la tabla anterior.

Además, se utiliza un aditivo superplastificante, RheoFIT 786 de BASF Construction Chemicals España S.L., para reducir la cantidad de agua necesaria en la mezcla.

El agua utilizada en la mezcla es extraída directamente de la red de suministro sin ningún tratamiento adicional, y tiene un pH de 7,9 y un contenido de azufre de 590 ppm.

## 5. MEZCLAS REALIZADAS

Todas las mezclas se realizan con los mismos materiales y sin exceder el 20% (en peso seco) de granulado de caucho para garantizar la viabilidad de las piezas y evitar una disminución en la resistencia a compresión por debajo de los 10 MPa [66].

Las mezclas son homogeneizadas en una mezcladora industrial durante 3 min.

Los valores medios de las densidades se situaron en:

- 2.036,8 kg/m<sup>3</sup> para Mix 1 (0% de caucho de neumáticos fuera de uso)
- 1.930,3 kg/m<sup>3</sup> para Mix 2 (10% de caucho de neumáticos fuera de uso)
- 1.847,5 kg/m<sup>3</sup> para Mix 3 (20% de caucho de neumáticos fuera de uso).

El hundido (slump) de cono de Abrams de las mezclas se adapta a las necesidades de la prensa de producción industrial mediante un control de la dosificación del agua situando este valor entre 0 y 1 cm.



Ilustración 9 – Hundido de mortero en cono de Abrams

## 6. FABRICACIÓN DE LOS ELEMENTOS

El mortero fresco es moldeado gradualmente en una unidad de compactación automatizada modelo PB-1200 de Balbinot S.R.L.

Se aplica una presión de 69 kPa durante 5 segundos.

Las mezclas son sometidas a vibración hasta que los elementos se extraen de los moldes y se transportan hacia la cámara de curado mediante una cinta transportadora.

Los ladrillos y las bovedillas tienen las dimensiones y formas correspondientes a los productos comerciales de hormigón prefabricado.

Las dimensiones nominales para los ladrillos son de 25x11.5x10 centímetros, mientras que las bovedillas utilizadas tienen dimensiones de 48x25x20 centímetros.

Los espesores mínimos de las paredes son de 1 cm para los ladrillos y de 2 cm para las bovedillas.

Los elementos fabricados son curados al aire a una temperatura de  $24\pm 4^{\circ}\text{C}$  durante un período de 28 días.



*Ilustración 10 - Ejemplo de piezas de ladrillos y bovedillas obtenidas en la instalación industrial.*

Las viguetas se construyen inicialmente utilizando hormigón convencional con el código HA-25-B-12-IIa.

Para las viguetas que se combinan con los ladrillos y las bovedillas modificados, se agrega granulado de neumático en la capa superior de las viguetas.



Ilustración 11 - Fabricación de viguetas en celosía con película de capa de caucho incorporada

## 7. CONSTRUCCIÓN DE LAS CELDAS

Para evaluar el comportamiento térmico de los elementos constructivos, se construyen tres celdas diferentes denominadas para el ensayo C1, C2 y C3.

Cada celda se fabrica utilizando ladrillos y bovedillas con diferentes porcentajes de caucho reciclado: 0%, 10% y 20% respectivamente.

Las dimensiones de las tres celdas fueron de 2x2x2.6 metros.

Cada celda se apoya sobre dos muretes de soporte, sobre los cuales se coloca el suelo compuesto por viguetas y bovedillas.

Se colocan sondas térmicas en el propio suelo, a las que se accede desde la parte inferior.

Para evitar corrientes de aire, se utilizan tapas de poliestireno expandido en el suelo y en el techo, que cubren las bovedillas de hormigón (ver Figura a).

Sobre el suelo, se construyen cuatro paredes perimetrales con ladrillo.

Encima de estas paredes se coloca el techo, que se había construido previamente en el suelo, como se muestra en las Figuras b y c.

En la Figura d se puede observar el resultado de la construcción de las tres celdas y su numeración.

Las salidas de las sondas permiten obtener los datos del ensayo sin interferencias.



Ilustración 12 – Celdas construidas

Los muretes de apoyo tienen un espesor de 20 cm y están contruidos con bloques de hormigón. Las paredes perimetrales, con un espesor de 10 cm, se construyen utilizando los ladrillos de hormigón previamente fabricados. Tanto el suelo como el techo tienen un espesor de 30 cm y se configuran utilizando viguetas y bovedillas prefabricadas.

En las tres celdas, se utiliza mortero sin caucho agregado para unir todos los elementos. El hormigón estructural que se utiliza en la construcción de los forjados es el mismo en las tres celdas y tampoco incluye caucho.

Las composiciones específicas de cada celda se detallan en la siguiente tabla.

Celda	Ladrillos y bovedillas % Dopado	Sonda Fuera	Sonda Suelo	Sonda Pared	Sonda Techo	Sonda Dentro
C1	Mix 1 - 0%	E	S1	M1	T1	I1
C2	Mix 2 - 10%	E	S2	M2	T2	I2
C3	Mix 3 - 20%	E	S3	M3	T3	I3

Tabla 11 - Composición de elementos de construcción y sondas de temperatura.

Las celdas son construidas en el interior de una nave industrial para mantener las condiciones térmicas externas constantes controladas mediante una sonda de temperatura (E).

Cada celda es monitoreada con sondas idénticas ubicadas en los mismos lugares que se indican en la tabla anterior.

## 8. MÉTODO DE ENSAYO

Durante la construcción de cada celda (C1, C2, C3), se instalan sondas de temperatura (modelo Tempstick Probe de Tecnosoft SRL) en diversas ubicaciones.

Estas incluyen sondas en cada bovedilla central del suelo (S1, S2, S3), en la bovedilla central del techo (T1, T2, T3), en el centro de una pared lateral (M1, M2, M3) y en el interior de la cavidad (I1, I2, I3).

Además, se coloca una sonda en el exterior (sonda E) para registrar la evolución de la temperatura ambiental.

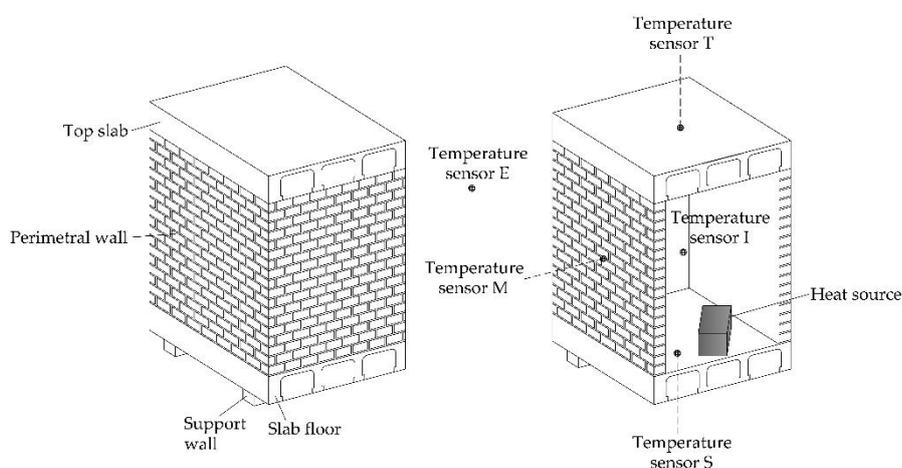


Ilustración 13 - Composición de las celdas y posición de las sondas.

Para llevar a cabo la observación, se programan las sondas y se registran datos durante una semana completa.

Durante este período, se alternan períodos de calentamiento del interior de las celdas con períodos de enfriamiento.

Para calentar las celdas, se coloca una resistencia eléctrica (230V, 2.3 A) en el centro de cada celda y se activa durante intervalos de tiempo específicos al día, durante los 7 días.

Las resistencias eléctricas se activan de manera simultánea en las tres celdas.

La duración de la activación de las fuentes de calor varía desde 2 horas en el primer día hasta 14 horas en el séptimo día, según se indica en la siguiente tabla.

Durante este proceso, se registran las temperaturas para detectar las rampas de aumento de temperatura y los valores máximos alcanzados en cada sonda.

Del mismo modo, se registran las caídas de temperatura durante los periodos en los que se desactiva la fuente de calor para evaluar la inercia térmica de cada solución constructiva.

Las lecturas de las sondas de temperatura se registran cada 5 minutos durante las 24 horas de los 7 días.

Hora	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
0:00							
1:00							
2:00							
3:00							
4:00							
5:00							
6:00							
7:00							
8:00							
9:09							
10:00							
11:00							
12:00							
13:00							
14:00							
15:00							
16:00							
17:00							
18:00							
19:00							
20:00							
21:00							
22:00							
23:00							

Tabla 12 - Pauta de encendido de las fuentes de calor.



---

**METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**  
**PARTE 2: ENSAYO DE**  
**CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE**  
**PROBETAS DE MORTERO CON**  
**DOPADO DE HUESO DE OLIVA**

## 1. ENSAYO DE CUANTIFICACIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Después de completar exitosamente el primer ensayo experimental, que demuestra una relación positiva entre la adición de materiales de residuos dopados al mortero/hormigón y la mejora de las prestaciones térmicas de aislamiento mediante la sustitución parcial de áridos, se plantea avanzar en la investigación con el objetivo de cuantificar con precisión los valores de reducción de la propiedad de conductividad térmica.

El próximo paso en esta investigación implicará, por tanto, realizar un análisis más detallado y exhaustivo de las muestras obtenidas en el primer ensayo experimental in situ.

El objetivo es obtener mediciones precisas de los valores de conductividad térmica de las diferentes mezclas de mortero/hormigón que incorporan los materiales de residuos dopados en distintas proporciones.

Estas mediciones se compararán con el mortero/hormigón de referencia sin adiciones para determinar el grado de mejora en las propiedades de aislamiento térmico logrado.

Se utilizan técnicas y equipos especializado para la medición de conductividad térmica mediante ensayos de laboratorio y análisis de datos y los resultados son sometidos a un riguroso proceso de verificación y validación para asegurar la fiabilidad de los datos obtenidos.

La investigación proporciona información detallada y cuantificable sobre la reducción de la conductividad térmica lograda con la adición de materiales de residuos dopados al mortero/hormigón. Estos datos son fundamentales para poder respaldar el desarrollo de soluciones más eficientes desde el punto de vista térmico y sostenible.

Además, los resultados obtenidos en esta etapa de investigación son de gran relevancia para el sector de la construcción, ya que también respaldan la implementación de nuevas prácticas y normativas que fomenten el uso responsable de materiales de residuos en la industria, contribuyendo así a reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia energética de los edificios y estructuras.

En resumen, este nuevo ensayo (más cuantitativo que cualitativo) representa un paso importante hacia la consolidación de soluciones constructivas más sostenibles y eficientes, y sienta las bases para futuros avances en este campo.

## 2. ADICIÓN DE HUESO DE OLIVA

Tanto el mortero como el hormigón son materiales absolutamente esenciales en la industria de la construcción debido a su versatilidad y amplio rango de aplicaciones.

En el ensayo anterior se ha demostrado que el dopado de mortero con caucho puede ser una técnica efectiva para mejorar diversas características térmicas del mortero al tiempo que se reduce el impacto ambiental mediante la reutilización de neumáticos desechados.

A partir de este momento, el estudio investiga la influencia del dopado de mortero con la adición de un residuo agrícola (triturado de hueso de oliva) para contribuir a mejorar las propiedades térmicas del material (manteniendo unas mínimas propiedades mecánicas estructurales).

El ensayo analiza diferentes mezclas de mortero con variaciones en la cantidad de hueso de oliva (entre el 0% y el 30%), evaluando su comportamiento térmico (calculando la propiedad de conductividad térmica) para determinar la viabilidad de su implementación en aplicaciones constructivas.

### 3. JUSTIFICACIÓN DE ENSAYOS CON DOS RESIDUOS

Esta investigación tiene como objetivo, desde su origen, analizar el efecto del dopado de mortero con caucho proveniente de neumáticos fuera de uso y la adición de triturado de hueso de oliva obtenido principalmente de la industria del aceite en las propiedades térmicas del mortero.

La decisión de realizar ensayos con dos materiales distintos se fundamenta en la búsqueda de una mayor fiabilidad y solidez en los resultados obtenidos, aunque sobre todo tiene que ver con criterios de disponibilidad y coste del residuo.

En primer lugar, al evaluar dos opciones diferentes de materiales de residuos, se puede obtener una visión más completa y representativa de cómo la sustitución parcial de áridos en el mortero/hormigón influye en las prestaciones térmicas de aislamiento.

De esta forma es importante destacar que, al contar con datos y resultados obtenidos a partir de dos fuentes distintas de materiales de residuos, los hallazgos son más sólidos y aplicables en diferentes contextos y condiciones de construcción ya que su impacto en las propiedades térmicas del mortero/hormigón tiene el potencial de impulsar prácticas constructivas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Con la confirmación de que la sustitución parcial de áridos por ciertos residuos puede mejorar significativamente el aislamiento térmico, se estaría proporcionando una solución concreta y viable para la reducción del consumo energético en edificaciones y estructuras, beneficiando tanto al medio ambiente como a la eficiencia energética en el sector de la construcción.

Por otro lado, que la simulación energética final se realice con el residuo del triturado de hueso de oliva obedece también a criterios económicos y de disponibilidad del residuo.

El hueso de oliva forma parte de un proceso muy localizado en España (principalmente la obtención de aceite de oliva) por lo que la cantidad anual de generación de residuos es muy alta, así como de coste mucho más barato.

De la misma forma, su disponibilidad local (sobre todo en Andalucía) permitiría generar infraestructuras logísticas y sociales mucho más sostenibles y eficientes que las de los residuos procedentes de neumáticos fuera de uso.

#### 4. REDUCCIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL DOPADO DE MORTERO CON DOPADO DE HUESO DE OLIVA

El objetivo de este ensayo es concluir que el dopado de mortero con triturado de hueso de oliva representa una técnica válida para disminuir la conductividad térmica en materiales de construcción.

Al emplear triturado de hueso de oliva como material de relleno en la mezcla de mortero de cemento, se logra sustituir parte del árido convencional utilizado en la producción, obteniendo así una mezcla con características mejoradas en algunos ámbitos (térmicas) y empeoradas en otros (mecánicas).

Por supuesto, una de las principales ventajas significativas de añadir triturado de hueso de oliva a la mezcla de cemento es su impacto positivo en la eficiencia energética de los edificios.

Al reducir la conductividad térmica del material, se minimizan las pérdidas de calor a través de las estructuras, lo que resulta en una mejor regulación de la temperatura interior y, por consiguiente, en una menor demanda de energía para calefacción y refrigeración del edificio, en definitiva, de climatización.

Además del beneficio en términos de eficiencia energética, el uso de residuos de oliva como material de relleno en la producción de cemento tiene un impacto positivo en la gestión de residuos y en la conservación de recursos naturales.

Al darle un propósito útil a los huesos de oliva que, de otra manera, podrían terminar como desechos (si bien su uso actual suele ser la combustión en calderas de biomasa) esta técnica de dopado de mortero de cemento con triturado de hueso de oliva se posiciona como una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente en el campo de la construcción. Al ofrecer mejoras en la eficiencia térmica y contribuir a la gestión adecuada de residuos, se promueve una construcción más responsable y comprometida con la conservación de recursos naturales y la reducción de la huella ambiental.

La implementación de esta técnica puede marcar una diferencia significativa en el desarrollo de edificaciones más sostenibles y energéticamente eficientes.

## 5. UTILIZACIÓN DE LADRILLOS DE MORTERO CON DOPADO DE HUESO DE OLIVA

A partir del estado del arte y la información recopilada sobre el reciclado de residuos y la economía circular en la construcción, se propone como hipótesis de trabajo que el uso de ladrillos de mortero con dopado de triturado de hueso de oliva sea una opción sostenible a nivel energético, económico, ambiental y social en el sector de la construcción.

La adición del triturado de hueso de oliva al mortero en la fabricación de ladrillos se plantea como una estrategia para mejorar la eficiencia energética de los edificios de nueva construcción a través de la reducción de la demanda de energía conjunta de calefacción y refrigeración.

Se espera que esta adición reduzca la conductividad térmica del mortero, lo que a su vez disminuirá la transferencia de calor a través de los ladrillos y, por consiguiente, la demanda de energía convencional necesaria para mantener una temperatura adecuada en el interior de los edificios.

Esta hipótesis se basa en el conocimiento previo de los beneficios del dopado de mortero con neumáticos fuera de uso (NFU), que ha demostrado mejorar las propiedades térmicas del material de construcción.

Al aplicar esta técnica en ladrillos de mortero, se busca proporcionar una solución sostenible y respetuosa con el medio ambiente para contribuir a la reducción del consumo energético en el sector de la construcción. La investigación y el desarrollo de ladrillos de mortero dopados con hueso de oliva tienen el potencial de ofrecer una alternativa más ecológica y eficiente para la edificación de estructuras.

Además, al utilizar residuos de oliva en la fabricación de estos ladrillos, se fomenta el enfoque de la economía circular, revalorizando los materiales de desecho y evitando su acumulación en vertederos.

Esta propuesta puede ofrecer un camino prometedor hacia una construcción más sostenible, reduciendo la huella ambiental y avanzando hacia una economía circular en el sector de la construcción.

## 6. ENSAYO CON PROBETAS DE MORTERO DOPADO CON HUESO DE OLIVA PARA MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Se plantea realizar una serie de probetas de mortero, cada una de ellas dopada con distintos porcentajes de triturado de hueso de oliva para cuantificar la reducción de la propiedad de la conductividad térmicas.

Ya se ha explicado con anterioridad que la utilización del triturado de hueso de oliva, tiene que ver con varios aspectos.

En primer lugar, la posibilidad de afirmar que son varios los materiales que pueden servir de dopado al mortero para mejorar sus prestaciones de aislamiento térmico.

En segundo lugar, de disponibilidad del residuo a la hora de realizar las probetas en los laboratorios de la Universidad de La Rioja.

Y, por último, por criterios económicos ya que la disponibilidad del residuo de triturado de hueso de oliva de manera local en España permite que sea un recurso más barato y, por lo tanto, bastante más rentable que el caucho procedente de los neumáticos fuera de uso.

Para el desarrollo y confección de las probetas que se analizarán posteriormente, se emplea una combinación de materiales compuesta por:

- Cemento Portland de alta calidad
- Arena de granulometría adecuada
- Agua en las proporciones precisas
- Triturado de hueso de oliva en diferentes cantidades según lo establecido en la documentación.

La preparación de estas mezclas fue llevada a cabo con sumo cuidado para garantizar una distribución uniforme de los componentes y, en consecuencia, obtener resultados confiables y reproducibles.

Para la realización del ensayo, las probetas de mortero son, primero, meticulosamente moldeadas para después proceder a realizar una serie de mediciones experimentales para evaluar su conductividad térmica.

Este parámetro se considera fundamental para determinar el rendimiento del mortero en términos de aislamiento térmico, ya que cuanto menor sea la conductividad, mayor será

la capacidad del material para resistir los flujos de calor y, por lo tanto, mejorar la eficiencia energética en edificaciones.

Los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizados por la máquina en laboratorio se someten después a un análisis riguroso, empleando métodos estadísticos y herramientas de modelado para poder entender mejor cómo el dopado con triturado de hueso de oliva afecta la conductividad térmica del mortero.

Se comparan las diferentes proporciones de dopado (inicialmente entre el 0% y el 30% de triturado de hueso de oliva en volumen de sustitución de áridos) y se identificaron las combinaciones más efectivas en términos de mejora del aislamiento.

Además de la parte experimental, se llevan a cabo estudios complementarios para evaluar aspectos como la resistencia mecánica, durabilidad y sostenibilidad de los morteros dopados. Estos estudios no forman parte de la presente investigación, pero las publicaciones relacionadas permiten concretar que porcentajes de dopados son los máximos a incluir en el mortero y hormigón sin afectar, de manera considerable a su resistencia mecánica.

En conclusión, este parte del proyecto de investigación representa un esfuerzo multidisciplinar para explorar y comprender los efectos del dopado de triturado de hueso de oliva en el mortero, con el objetivo de mejorar su aislamiento térmico.

Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa para la industria de la construcción y abren nuevas posibilidades para desarrollar materiales más eficientes y sostenibles en el ámbito de la edificación y la infraestructura.

## 7. MATERIALES UTILIZADOS

### 7.1. MATERIALES

Para fabricar las diferentes probetas compuestas por morteros dopados con triturado de hueso de oliva, se requieren los siguientes materiales:

#### 7.1.1. ÁRIDOS

Los áridos agregados son materiales granulares como arena, grava, piedra triturada o escoria, que se combinan con un medio cementante para formar mortero.

Existen dos tipos de agregados que se utilizarán en función del producto final obtenido: los finos y los gruesos.

Los agregados finos utilizados en la fabricación de morteros son la gravilla y la arena, que cumplen con las especificaciones de tipo AF-T-0/4-C.

Estos agregados finos tienen un tamaño máximo de 4 mm y una densidad de 1.634 kg/m<sup>3</sup>. Se emplea piedra caliza triturada proveniente de una cantera local como fuente de estos agregados finos.

Después de su recepción, estos materiales fueron almacenados en condiciones ambientales de 20°C y 55% de humedad relativa.

Por otro lado, para la fabricación de hormigón, se utiliza grava gruesa o piedra triturada, que pertenece al grupo de agregados gruesos, proporcionando la resistencia y características adecuadas para esta aplicación.

#### 7.1.2. AGUA

El agua desempeña dos roles fundamentales en la fabricación de mortero y hormigón, siendo esenciales para lograr las propiedades deseadas en estas mezclas.

En primer lugar, el agua reacciona químicamente con el cemento, formando una pasta sólida que proporciona la dureza característica a los morteros y hormigones. Esta reacción es crucial para el proceso de fraguado, donde la mezcla se convierte gradualmente en un material rígido y resistente.

En segundo lugar, el agua facilita el manejo de la mezcla al ayudar a lograr una homogeneidad y compactación adecuadas. Permite que los componentes se mezclen de manera uniforme, mejorando la trabajabilidad y facilitando su aplicación en diferentes construcciones.

Es importante mantener un control preciso sobre la cantidad de agua utilizada, ya que esto tiene un impacto significativo en las características finales de la mezcla.

La escasez de agua puede resultar en una mezcla densa y seca, difícil de trabajar y homogeneizar. Por otro lado, el exceso de agua puede crear poros al evaporarse durante el proceso de fraguado, lo que disminuye la resistencia de la mezcla y puede provocar la segregación de sus componentes.

Para asegurar la correcta proporción, se agrega entre 0.80-0.85 kilogramos de agua (0.80-0.85 litros) por cada kilogramo de cemento utilizado en la mezcla. De esta manera, se logra un equilibrio óptimo entre la trabajabilidad y la resistencia del mortero u hormigón resultante, manteniendo siempre la misma consistencia.

Cabe mencionar también que el agua de mezcla utilizada en este proyecto fue extraída directamente de la red de suministro sin recibir tratamiento adicional. Su pH fue medido en 7,9 y contenía 590 ppm de azufre.

Estos datos son relevantes para tener en cuenta la calidad del agua y su posible influencia en las propiedades finales de las mezclas.

### 7.1.3. TRITURADO DE HUESO DE OLIVA

Los morteros comunes no suelen incluir este tipo de material, pero en el caso particular de este estudio de laboratorio, el triturado de hueso de oliva se convierte en el componente clave para el dopaje de los diferentes tipos de morteros, siendo, además, un elemento fundamental en el desarrollo del resto de la investigación.

El triturado de hueso de oliva que se utiliza para el dopaje de las probetas procede de la empresa "Trujal 5 Valles de Arnedo" ubicada en La Rioja, España. Esta cooperativa se destaca como la principal industria olivarera de la región, lo que le permite contar con una producción considerable del producto requerido para el estudio.

Cabe destacar que el triturado de hueso de oliva empleado en este proyecto no se somete a ninguna transformación química; simplemente se trata de huesos de oliva

triturados obtenidos a partir del proceso de extracción de aceite, cuando se molturan las olivas para obtener el líquido.

La utilización de este material no transformado químicamente es relevante, ya que permite estudiar sus propiedades en estado natural y evaluar cómo su incorporación afecta las características del mortero en términos de aislamiento térmico y resistencia mecánica.

Además, su origen en el proceso de producción de aceite de oliva lo convierte en un recurso sostenible, ya que se aprovecha un subproducto de la industria olivarera que de otro modo podría ser desechado (aunque la mayoría del residuo se suele utilizar como combustible en calderas de biomasa).



*Ilustración 14 - Triturado de hueso de oliva en Big-Bag*



*Ilustración 15 – Triturado de hueso de oliva empleado en el dopaje de las probetas de mortero*

#### 7.1.4. CEMENTO PORTLAND

El cemento Portland es un tipo de cemento ampliamente utilizado en la industria de la construcción debido a su resistencia y versatilidad que se obtiene mediante la mezcla de calizas y arcillas en proporciones adecuadas y que, posteriormente, se muelen conjuntamente hasta obtener una finura extrema.

Además de la mezcla de calizas y arcillas, también se le añade una pequeña cantidad de yeso y otros compuestos, lo que contribuye a mejorar sus propiedades de fraguado y resistencia.

Una vez que todos los componentes han sido molidos y mezclados adecuadamente, se obtiene el denominado cemento Portland.

El cemento Portland es el tipo de cemento más comúnmente utilizado en el mundo, y su popularidad se debe a su capacidad para producir mortero y hormigón de alta calidad, lo que lo convierte en un pilar fundamental para la industria de la construcción moderna.

Su uso es, sin ninguna duda, fundamental en la creación de cimientos, columnas, vigas, losas y otras estructuras, asegurando la resistencia y estabilidad necesarias para las construcciones.

En el estudio se utilizan tres tipos distintos de cemento.

La numeración secundaria (32,5, 42,5 o 52,5) indica la resistencia mínima que este material adquiere a la compresión a los 28 días después de su fraguado.

Esta propiedad es esencial para la utilización exitosa del cemento en una amplia variedad de aplicaciones de construcción, ya que garantiza la durabilidad y capacidad de soportar cargas importantes en estructuras y edificaciones.

- Cemento 32,5: este tipo de cemento presenta una resistencia mínima de 32,5MPa a los 28 días de su fabricación. El cemento utilizado ha sido:
  - o CEM II/B-M (V-L) 32,5N, de la marca Cementos Portland Valderrivas.
    - Porcentaje de clínker está entre el 65 y el 79%, que es mixto (porcentaje entre el 21 y el 35%) ya que lleva en su composición ceniza volante en un porcentaje entre el 1 y el 16% y caliza en un porcentaje entre el 0 y el 20%, también puede llevar componentes adicionales minoritarios entre el 0 y el 5%.

- Posee una resistencia inicial  $\geq 16,5\text{MPa}$  y una resistencia normal a los 28 días que se encuentra entre 32,5 y 52,5MPa.
- Cemento 42,5: este es un cemento que posee una resistencia a los 28 días desde su fabricación de 42,5MPa. El cemento empleado para la fabricación de las probetas ha sido el siguiente:
  - BL II/B-LL 42,5R, de la marca Cementos Tudela Veguín.
    - Cemento común blanco con adicciones, cuyo índice de blancura es igual o superior al 75%, posee un contenido en clínker de entre el 75 y el 94%, siendo el resto adicciones (entre el 6 y el 25%).
    - Posee una resistencia inicial  $\geq 20\text{MPa}$  y una resistencia normal a los 28 días de vida entre 42,5 y 62,5MPa.
- Cemento 52,5: este es un cemento que posee una resistencia a los 28 días desde su fabricación de 52,5MPa. El cemento empleado para la fabricación de las probetas ha sido el siguiente:
  - CEM I 52,5R, de la marca Cementos Portland Valderrivas.
    - Cemento común de alta resistencia inicial, cuyo porcentaje de clínker se encuentre entre el 95 y el 100 % y los componentes minoritarios adicionales están entre el 0 y el 5%.
    - Posee una resistencia inicial  $\geq 30\text{MPa}$  y su resistencia normal a los 28 días es  $\geq 52,5\text{MPa}$ .

La composición química del material, suministrado por Cementos Portland Valderrivas S.A., se reflejan en la siguiente tabla.

Composición	Porcentaje (%)
SiO <sub>2</sub>	18,05
CaO	62,96
MgO	2,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,53
SO <sub>3</sub>	3,08
Inquemados	5,04

Tabla 13 - Composición general del cemento Portland Valderrivas



Ilustración 16 - Cementos utilizados en las probetas realizadas

## 7.2. MEZCLAS

Se llevan a cabo pruebas con diversas probetas en las cuales se añade un porcentaje variable de dopaje de huesillo de oliva, que oscila entre el 0% y el 30% en relación con el volumen total de la mezcla.

Es importante tener en cuenta que a medida que se incrementa el porcentaje de triturado de hueso de oliva, se produce una disminución en la resistencia a compresión que los diferentes morteros pueden soportar. Esta característica limita su uso en aplicaciones de construcción que requieren materiales con alta resistencia a esfuerzos mecánicos.

Por esta razón, las probetas térmicas se realizan con un porcentaje máximo de huesillo de oliva del 30%. Se considera que este nivel de dopaje proporciona las propiedades térmicas deseadas sin comprometer demasiado la resistencia general del mortero. [71]

En este contexto, la mezcla se define como el porcentaje de hueso de oliva que se agrega a cada una de las probetas, expresado como un porcentaje del volumen total de la mezcla.

De esta manera, se controla cuidadosamente la cantidad de dopaje utilizado en cada ensayo, permitiendo obtener resultados precisos sobre el comportamiento térmico de los morteros en función de la cantidad de huesillo de oliva incorporado.

En este estudio se van a estudiar los siguientes porcentajes de mezclas.

- M-0: arena 100%
- M-5: arena 95% + huesillo 5%
- M-10: arena 90% + huesillo 10%
- M-15: arena 85% + huesillo 15%
- M-20: arena 80% + huesillo 20%
- M-25: arena 75% + huesillo 25%
- M-30: arena 70% + huesillo 30%

## 7.3. FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS

### 7.3.1. PROBETAS UTILIZADAS

Se lleva a cabo la fabricación de probetas de mortero con dimensiones de 0,30 x 0,30 x 0,05 metros.

Para cada uno de los siete tipos de mortero, diferenciados por el porcentaje de hueso de oliva que contengan, se producen dos probetas.

La proporción de hueso de oliva en cada mezcla se ajusta de manera inversamente proporcional a la cantidad de arena utilizada en volumen; es decir, cuanto mayor sea la cantidad de hueso de oliva, menor será la cantidad de arena.

Se realiza un cálculo para determinar la cantidad adecuada de hueso de oliva que guarde una relación equilibrada con el resto de los materiales en cada tipo de mortero.

La siguiente tabla muestra las cantidades de cada uno de los materiales utilizados en la fabricación de las probetas, según el porcentaje de dopado que se desee emplear (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%).

CEMENTO	Arena	Cemento	Agua	Huesillo	Total	% en masa
M-0	40 kg	8 kg	7 kg	0 kg	54,5 kg	0,00%
M-5	38 kg	8 kg	7 kg	0,71 kg	53,21 kg	1,33%
M-10	36 kg	8 kg	6 kg	1,42 kg	51,42 kg	2,76%
M-15	34 kg	8 kg	6 kg	2,1 kg	50,1 kg	4,19%
M-20	32 kg	8 kg	6 kg	2,83 kg	48,83 kg	5,80%
M-25	30 kg	8 kg	6 kg	3,54 kg	47,54 kg	7,45%
M-30	28 kg	8 kg	6 kg	4,3 kg	45,8 kg	9,39%

Tabla 14 - Tipo y cantidad de material necesario para la fabricación de hormigón y morteros



*Ilustración 17 – Ejemplo de proceso de pesaje de las cantidades necesarias para las probetas*



*Ilustración 18 - Ejemplo de realización de la amasada de mortero*

La cantidad de agua que se incorpora a la mezcla es variable.

Como se puede observar oscila entre los 6,5kg (litros) para el mortero sin dopar y los 5,5 kg (litros) para el dopado del 30%.

Esto es debido a que, en todas las amasadas se busca una consistencia similar. Concretamente y siguiendo las especificaciones del ensayo de cono de Abrams se busca una consistencia plástica entre 2 y 6 cm de asentamiento.

Tipo de consistencia	Asentamiento (cm)
Seca	0-2
Plástica	3-5
Blanda	6-9
Fluida	10-15
Líquida	16-20

*Ilustración 19 - Tipos de consistencia del hormigón según Código Estructural*

El ensayo del cono de Abrams se utiliza para evaluar la consistencia del hormigón y mortero fresco.

Este método implica llenar un cono metálico con la mezcla, vibrar para compactarla y medir la distancia que desciende el cono tras su extracción. Se destaca el uso de una varilla normalizada a modo de vibrador para evitar huecos en la fabricación del mortero.

El procedimiento concluye invirtiendo el cono y midiendo la distancia entre la varilla y la superficie del cono de mortero.



*Ilustración 20 – Ejemplo de realización del cono de Abrams*

### 7.3.2. MONTAJE DE LOS MOLDES

Antes de realizar el montaje, se lleva a cabo la limpieza minuciosa de cada uno de los moldes de dimensiones en forma de prisma de 0,3x0,3x0,05 metros que alojan las probetas térmicas para asegurar que no haya restos de partículas o residuos que puedan afectar la calidad de las probetas.

Luego, se aplica una capa uniforme de líquido desencofrante utilizando una brocha, con el propósito de facilitar la extracción posterior de las probetas una vez que hayan fraguado. Esta capa ayuda a prevenir que el mortero se adhiera al molde, permitiendo una extracción suave y sin dañar las probetas.

Después de realizar estas preparaciones, se procede al montaje de los tornillos en cada molde. Los tornillos se colocan para asegurar la estabilidad y la correcta conformación de las probetas. Este paso es fundamental para garantizar la precisión en las dimensiones y la homogeneidad de las probetas durante el proceso de fraguado y curado.

A partir de este momento se está listo para proceder a la preparación de las mezclas y el vertido del mortero en los moldes, dando inicio al proceso de fabricación de las probetas.



*Ilustración 21 - Ejemplo de limpieza y aplicación de desencofrante a los moldes*

### 7.3.3. LLENADO DEL MOLDE

Una vez que los moldes están montados, se procede al llenado con el mortero.

El proceso de llenado de los moldes se realiza en dos vertidos para mejorar la compactación del producto.

El primer vertido se lleva a cabo cuando se ha llenado la mitad de cada molde, y luego se realiza un primer vibrado con la herramienta de vibrador para asegurar que el mortero se asiente adecuadamente.

El segundo vertido se realiza cuando el molde está completamente lleno, y posteriormente se lleva a cabo un segundo vibrado para garantizar una distribución uniforme del mortero.

Finalmente, se enrasan cuidadosamente cada uno de los moldes con la ayuda de una paleta, lo que significa que se nivelan y alisan las superficies superiores de las probetas para que queden a ras del borde del molde.

Este paso es esencial para obtener probetas con dimensiones precisas y homogéneas.



*Ilustración 22 - Ejemplo del llenado de las probetas*

De esta manera se garantiza la correcta conformación de las probetas y se establecen las bases para obtener resultados confiables y representativos en las pruebas posteriores de resistencia y propiedades térmicas.

#### 7.3.4. SECADO, DESMOLDADO Y CODIFICACIÓN DE LAS PROBETAS

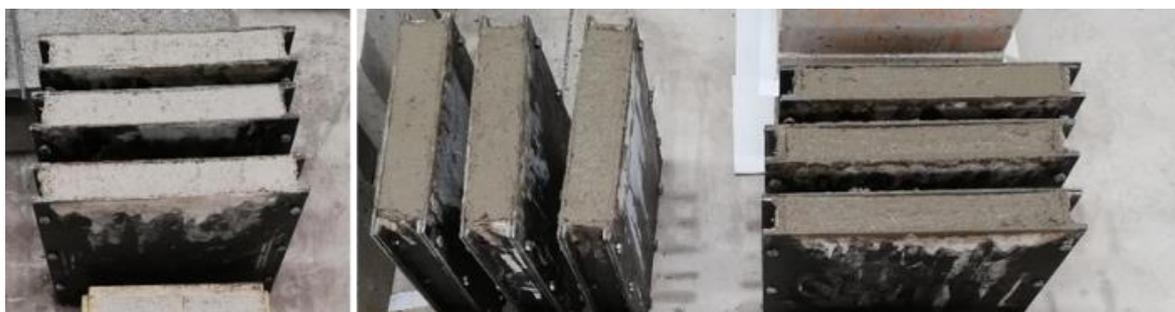
Se establece un tiempo mínimo de secado de 24 horas (1 día) para las probetas, pero en la práctica, estas permanecen en el interior de los moldes durante aproximadamente 3,5 días (alrededor de 84 horas).

Durante este período de secado, las probetas se mantienen sin cubrir dentro de un pabellón industrial de Vigas Mazo en Calahorra, donde están protegidas de la radiación solar y de cualquier posibilidad de lluvia y de otras inclemencias climatológicas.

Las temperaturas en el interior del pabellón industrial no experimentan oscilaciones significativas entre un día y otro, lo que implica que las probetas siguen un proceso de fabricación y secado en condiciones similares y estables.

Este enfoque para el secado de las probetas asegura que obtengan una resistencia y consistencia adecuadas antes de someterlas a las pruebas correspondientes.

El período de secado prolongado permite que el mortero alcance su completa madurez y estabilidad, lo que es esencial para obtener resultados precisos y confiables en las evaluaciones posteriores de sus propiedades térmicas y de resistencia mecánica.



*Ilustración 23 – Ejemplo de proceso de secado de las probetas*

Finalmente, se procede a extraer las probetas térmicas de mortero y hormigón de sus moldes con cuidado para evitar cualquier daño.



*Ilustración 24 - Ejemplo de extracción de las probetas*

Esto se logra aflojando y extrayendo los tornillos que sujetan el bastidor del molde. Es fundamental realizar esta operación con delicadeza para asegurar la integridad de las probetas.



*Ilustración 25 - Ejemplo de extracción de las probetas completado*

Una vez que las probetas están libres de los moldes, se les coloca una etiqueta con la codificación correspondiente, que incluye el número de probeta.

Esta etiqueta identificativa permite llevar un registro claro y organizado de cada muestra, lo que es esencial para poder relacionar los resultados obtenidos en las pruebas con la información específica de cada probeta.

Cada probeta se identifica, con la siguiente nomenclatura:

*M-%Dopado - Tipo de cemento - Número de probeta*

Donde:

- %Dopado es el porcentaje de dopado (M-05, M-10...)
- Tipo de cemento: 32,5, 42,5, 52,5
- Número de probeta: P1, P2, P3



*Ilustración 26 - Ejemplo de codificación de las probetas*

Con la extracción y etiquetado adecuados, las probetas están listas para ser sometidas a las pruebas de conductividad térmica.

## 8. MÉTODO DE ENSAYO

### 8.1. UNE-EN 12939:2001

El ensayo realizado tiene como objetivo estudiar la conductividad térmica de las diferentes probetas de mortero, tanto las que no han sido dopadas como las que contienen triturado de hueso de oliva en proporciones entre el 5% y el 30% en sustitución del volumen de árido, siguiendo el procedimiento establecido por la norma UNE-EN 12939:2001 ERRATUM:2009 "Thermal performance of building materials and products - Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - Thick products of high and medium thermal resistance." [72]

La conductividad térmica ( $\lambda$ ) se define como la capacidad de cada material para transferir energía en forma de calor, a través de conducción, es decir, sin intercambio de materia, desde el cuerpo con mayor temperatura hacia el cuerpo con menor temperatura de manera espontánea.

En el sistema internacional, las unidades de conductividad térmica se expresan en  $W/(m \cdot K)$ .

Esta propiedad es especialmente relevante para entender cómo los materiales reaccionan a la transferencia de calor. Los metales se caracterizan por tener una conductividad térmica muy elevada, lo que los convierte en buenos conductores térmicos. En contraste, los materiales aislantes o polímeros presentan una conductividad térmica muy baja, lo que los convierte en excelentes aislantes térmicos.

A través de este ensayo, se busca conocer cómo el dopaje con triturado de hueso de oliva afecta en la reducción de la propiedad de la conductividad térmica del mortero.

Esto es relevante para evaluar las propiedades aislantes del material y su idoneidad en aplicaciones de construcción donde se busque optimizar el aislamiento térmico y mejorar la eficiencia energética de los edificios.

## 8.2. MÁQUINA GUNT WL360

La máquina utilizada para calcular la conductividad térmica ( $\lambda$ ) en este estudio es el modelo WL376 de la empresa GUNT Hamburg.

Esta máquina se emplea junto con un refrigerador que desempeña un papel crucial en el proceso. El refrigerador ayuda a mantener la temperatura de la placa fría constante, lo que es fundamental para obtener mediciones precisas y confiables.

Ambos equipos, la máquina de medición y el refrigerador, están interconectados mediante tubos por los cuales circula el agua de refrigeración.

Esta configuración permite controlar y regular adecuadamente la temperatura de la placa fría durante el ensayo, garantizando condiciones óptimas para la determinación de la conductividad térmica de los materiales.

En este estudio, se van a analizar los morteros que han sido dopados con triturado de hueso de oliva en diferentes porcentajes.

El propósito de este análisis es evaluar cómo la presencia de triturado de hueso de oliva afecta la conductividad térmica de los morteros, lo que proporciona información relevante para entender el comportamiento térmico de estos materiales dopados y su idoneidad en aplicaciones de construcción que requieran un buen aislamiento térmico y eficiencia energética.





Ref.	Descripción
1	Aislamiento de la placa caliente
2	Placa caliente
3	Placa fría
4	Tapa para carcasa aislante
5	Interruptor principal e interruptor de calefacción
6	Luces LED
7	Carcasa aislante
8	Husillo de presión

*Ilustración 27 - Máquina térmica empleada, modelo WL 376 de la empresa GUNT y descripción de sus partes*

La máquina utilizada en este estudio tiene una potencia de 700W y es capaz de ensayar probetas cuadradas con dimensiones de 30 cm x 30 cm de lado y hasta un espesor máximo de 5 cm (del mismo tamaño que las probetas realizadas).

También se pueden analizar combinaciones de otros tamaños de probetas, siempre y cuando el espesor total no supere este límite.

La versatilidad de la máquina permite, por tanto, analizar todo tipo de materiales de construcción, siempre y cuando no sean metálicos.

La máquina tiene un peso aproximado de 90 kilogramos y es capaz de alcanzar una temperatura máxima de 80°C en la placa caliente.

Para llevar a cabo el ensayo, después de encender el interruptor de la máquina, se eleva la parte móvil hasta el tope utilizando el husillo. Luego, se introduce la probeta en el hueco designado, evitando cualquier contacto con la placa fría y la placa caliente para evitar daños en los sensores que se encuentran en su superficie.



*Ilustración 28 - Probeta térmica colocada en posición*

Una vez que la probeta está en su posición, se ajusta la placa caliente mediante el husillo de presión y se gira hasta que entra en contacto con la placa fría, asegurando que no quede una capa de aire entre la placa caliente y la probeta. Esta correcta colocación es esencial para obtener mediciones precisas y confiables de la conductividad térmica del material.

Después de asegurar correctamente la probeta en la máquina, se procede a colocar la tapa de la carcasa aislante para lograr un sellado completo y evitar cualquier pérdida de calor durante el ensayo. Para ello, se introducen los pernos fijos y se colocan y aprietan las tuercas de forma adecuada para garantizar una perfecta hermeticidad.

Una vez sellado el sistema, se pone en funcionamiento el refrigerador que forma parte del equipo. Al activar el refrigerador, se inicia el proceso de enfriamiento de la placa fría, asegurando que la temperatura se mantenga constante durante todo el ensayo.

Además, se abre la llave de paso del agua de red, lo que permite que el agua circule a través de los tubos conectados al refrigerador y que la placa fría pueda refrigerarse de manera efectiva.

Con todas estas precauciones y ajustes realizados, la máquina está lista para llevar a cabo el ensayo de conductividad térmica en las probetas de mortero dopado con triturado de hueso de oliva.

### 8.3. SOFTWARE GUNT WL376, VERSIÓN 2.3.

El proceso de ensayo comienza al inicializar el software GUNT WL376, versión 2.3, que está incorporado con la máquina.

En la pantalla principal "Diagrama del sistema", se ingresan los datos del ensayo:

- Temperatura de la placa caliente: Se seleccionan tres temperaturas diferentes para realizar tres ensayos, que serán 30°C, 40°C y 50°C, respectivamente.
- Temperatura de la placa fría: Se mantiene constante en 20°C a lo largo de todos los ensayos.
- Espesor de la probeta a ensayar: Se fija en 50 mm para todas las pruebas.

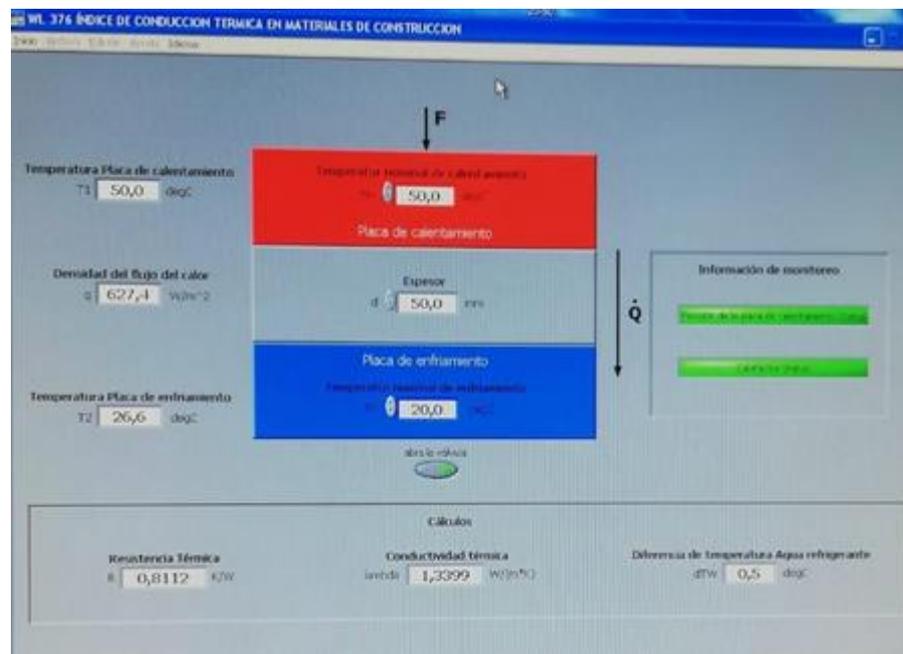


Ilustración 29 - Pantalla de diagrama del sistema del software

Desde esta misma pantalla, se abre la válvula que permite el paso del agua para refrigerar la placa fría, asegurando así su correcto enfriamiento durante todo el proceso.

En la pantalla "Gráfica", se establece el intervalo de tiempo para la recopilación de datos, que será cada 10 segundos en este caso.

El programa comienza a registrar la conductividad térmica ( $\lambda$ ) de las probetas a medida que se realizan los ensayos.

Durante los ensayos, la temperatura de la placa caliente se modifica en función de los valores seleccionados (30°C, 40°C y 50°C), mientras que la placa fría permanece prácticamente constante a 20°C.

Sin embargo, se señala que debido a las variaciones en la temperatura de la placa caliente, la placa fría también puede experimentar pequeñas variaciones, ya que el refrigerador no puede mantener una temperatura completamente constante en la placa fría cuando cambian las condiciones térmicas.

Cada probeta se somete a tres ensayos diferentes, con las combinaciones de temperaturas de trabajo:

- 20°-30°C
- 20°-40°C
- 20°-50°C.

Al iniciar el ensayo presionando el botón de inicio, se crea un nuevo archivo de datos que registra todos los valores de conductividad térmica ( $\lambda$ ) obtenidos durante el ensayo.

El ensayo se da por finalizado cuando la conductividad térmica que aparece en la pantalla "Diagrama del sistema" se estabiliza y no varía durante al menos 20 minutos hasta el segundo decimal.

#### 8.4. OBTENCIÓN DEL PARÁMETRO $\Lambda_{10}$

Una vez obtenidos los datos de conductividad térmica ( $\lambda$ ) en el archivo de datos y exportados a una hoja de cálculo, se procede a realizar el análisis de los resultados de la siguiente manera:

- Selección de datos estables de  $\lambda$ : Se identifican todos los valores de  $\lambda$  que son constantes, es decir, que no varían durante al menos los últimos 20 minutos de ensayo. Estos valores se consideran estables y se toman como referencia para el cálculo posterior.
- Comprobación de constancia de  $\lambda$ : Se verifica si la conductividad térmica es realmente constante durante todo el ensayo.
  - o Si se confirma que  $\lambda$  es constante, se procede a seleccionar y graficar el mismo intervalo de datos para la temperatura de la placa fría.

- o En caso contrario, se busca un intervalo de datos donde  $\lambda$  sea constante durante el tiempo estipulado (20 minutos) o se decide repetir el ensayo si no se encuentra un intervalo adecuado.
- Cálculo del valor medio de temperatura: Se calcula el valor medio de la temperatura utilizando el valor de la temperatura media de la placa fría (promedio de los datos seleccionados) y la temperatura de la placa caliente (dato registrado).
- Repetición del procedimiento para cada rango de temperatura: Los pasos anteriores se realizan tres veces, una vez para cada rango de temperatura ensayado (20°-30°C, 20°-40°C y 20°-50°C).
- Graficado y obtención de la ecuación: Con los valores medios de temperatura fría, caliente y conductividad  $\lambda$  de cada rango de temperatura, se grafican los tres puntos en un gráfico. Se añade una línea de tendencia que se ajuste a estos puntos y se obtiene la ecuación de dicha línea.
- Cálculo de  $\lambda_{10}$ : Sustituyendo el valor de 'x' en la ecuación (que representa la temperatura de placa caliente) por 10°C, se obtiene el valor de  $\lambda_{10}$ , que es la conductividad térmica a una temperatura de placa caliente de 10°C.

Los resultados obtenidos del ensayo se anexan en el capítulo de "Resultados" en el presente documento.



---

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN  
DE LA SOSTENIBILIDAD  
ENERGÉTICA: CASO PRÁCTICO  
CON LADRILLO GERO DOPADO DE  
TRITURADO DE HUESO DE OLIVA**

## 1. PLANTEAMIENTO DEL CASO PRÁCTICO

### 1.1. LADRILLO DE MORTERO DOPADO

Para valorar las posibles prestaciones prácticas del mortero dopado con residuos de triturado de hueso de oliva se pretende realizar un estudio de simulación energética en un modelo de edificio nuevo con una tipología constructiva que cumple con las exigencias actuales de limitación de demanda energética derivadas del Código Técnico de la Edificación (actual Real Decreto 732/2019) [10] en las diferentes zonas climáticas existentes en España.

### 1.2. SOFTWARE UTILIZADO: HULC

Todos los modelos resultantes se calculan con la Versión 2.0.1960.1156 de la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC), software reconocido por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España para la certificación energética de edificios y la justificación de las exigencias de demanda y consumo energético del Código Técnico de la Edificación.

### 1.3. MODELO EDIFICATORIO

Para la confección del modelo de edificio base se opta por una tipología edificatoria de RESIDENCIAL EN BLOQUE reconocida en el modelo 6.2 del documento de "Calificación energética de edificios existentes del IDAE – Instituto para la diversificación y ahorro de energía de España" [73].

Se utiliza un modelo en planta con 21 metros de fachada principal al Sur y trasera al Norte y 20 metros de medianera perpendicular (Este y Oeste) en forma cuasi cuadrada. En las dos fachadas medianeras se abren dos pequeños patios de dimensiones 4x4 (16m<sup>2</sup> cada uno).

En el siguiente capítulo se procede a explicar con más detalle todas las características del modelo edificatorio utilizado, aunque a continuación se resumen las más importantes.

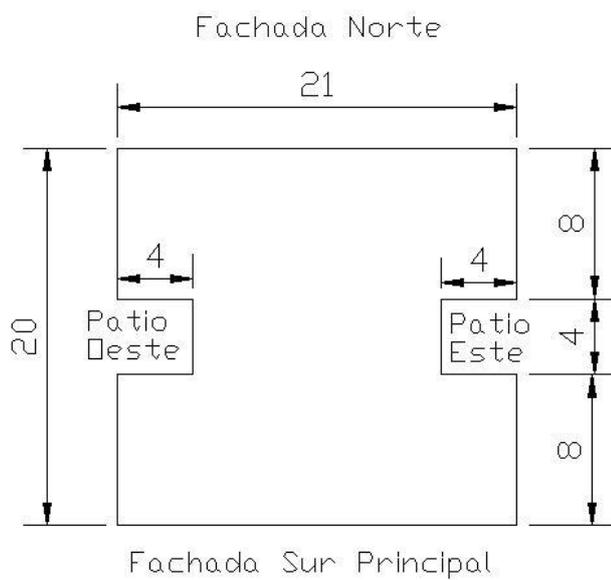


Ilustración 30 - Dimensiones en planta del edificio modelo

El modelo tiene la siguiente volumetría 3D:

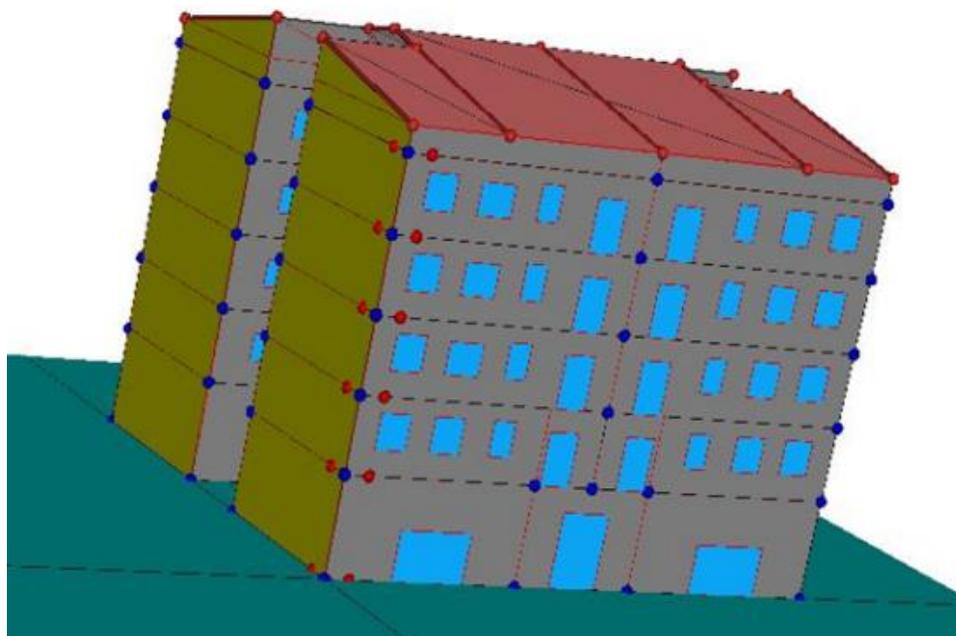


Ilustración 31 - Modelo 3D del edificio

El bloque de edificios que se dispone para la simulación consta de:

- PLANTA BAJA: 4 metros de altura entresuelo y primera planta con acceso común y dos locales comerciales.
- CUATRO PLANTAS DE VIVIENDAS con una distribución de 4 viviendas por planta de unos 90,75m<sup>2</sup> por vivienda (3 metros de altura entre planta).
- PLANTA BAJO CUBIERTA INCLINADA destinada a trasteros y cuarto de ascensor.

La envolvente térmica de un edificio es el conjunto de cerramientos (suelos, cubiertas, fachadas...) que separan los espacios habitables con el exterior (terreno, aire y otros edificios) y las particiones interiores que separan los espacios habitables de los no habitables que a su vez están en contacto con el exterior.

La envolvente del edificio modelizado está compuesta por los siguientes tipos de cerramientos:

Fachadas:	988,52 m <sup>2</sup>
Huecos:	175,08 m <sup>2</sup>
Medianeras:	569,6 m <sup>2</sup>
Cubiertas:	395,71 m <sup>2</sup>
Suelo en contacto con el terreno	388 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL:</b>	<b>2516,91 m<sup>2</sup></b>

*Tabla 15 - Superficie total de la envolvente térmica del edificio*

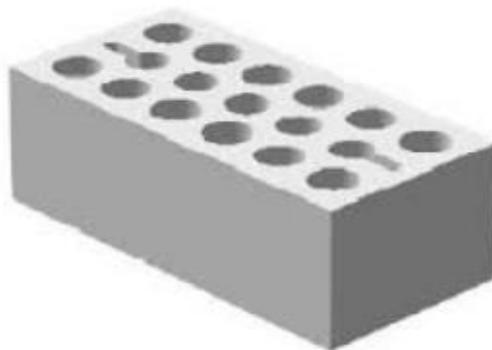
#### 1.4. OBJETIVO DE LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA

El objetivo es calcular la reducción de demanda energética conjunta de calefacción y refrigeración (kWh/m<sup>2</sup> y año) con la sustitución 23cm en dos hojas de ladrillo GERO de mortero perforado convencional de 11,5cm de espesor (base de datos del software de cálculo) de la fachada por otro ladrillo GERO de iguales características, pero con un porcentaje de dopaje de triturado de hueso de oliva.

De la misma manera también se sustituyen 3cm de la capa exterior de mortero de revestimiento sin dopar por otro del mismo exterior dopado con residuo de triturado de hueso de oliva.

#### 1.5. LADRILLO GERO

Se denomina ladrillo perforado o ladrillo GERO a aquel que tiene su masa agujereada con perforaciones circulares (o en rombo) de forma que el volumen total de huecos se sitúa entre el 25% y el 50% del volumen total de la pieza.



*Ilustración 32 - Ejemplo de ladrillo GERO perforado*

En la siguiente tabla se especifican los valores de la conductividad térmica del ladrillo de mortero (tanto macizo como perforado) de dimensiones 25x11.5x10 cm. según el documento "Catálogo de elementos constructivos del CTE" (Código Técnico para la Edificación de España) [74] para un mortero con densidad de 2.000kg/m<sup>3</sup>.

Estos valores son usados como referencia a la hora de realizar este estudio:

Material	Dimensiones (cm)	Densidad del mortero	$\lambda$ (Conductividad)
Ladrillo macizo	25x11.5x10	2000kg/m <sup>3</sup>	1,714
Ladrillo GERO perforado	25x11.5x10	2000kg/m <sup>3</sup>	1,091

Tabla 16 - Valores de  $\lambda$  para el hormigón y el mortero, según el CTE. Catálogo de elementos constructivos

El ladrillo macizo de las dimensiones utilizadas para el cálculo dispone de un volumen total de 2.875cm<sup>3</sup> de mortero.

En el ladrillo GERO perforado este volumen de mortero disminuye a 1.603,3cm<sup>3</sup> debido a que tiene un total de 18 agujeros de 3cm de diámetro.

El % de volumen de mortero sobre el total del ladrillo es de un 55,77% siendo, por tanto, el % de volumen de agujeros del 44,23%.

Asimismo, el coeficiente de reducción de la conductividad debido a los huecos de aire entre el ladrillo macizo y el perforado es de 0,64.

Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Nº Agujeros	Díametro (cm)	Volumen Real de Material (cm <sup>3</sup> )	% Mortero sobre total volumen
25	11,5	10	2875	18	3	1603,30	55,77%

$\lambda$ Ladrillo Macizo d=2000	$\lambda$ Ladrillo Perforado d=2000	Coeficiente de reducción de $\lambda$
1,714	1,091	0,64
Catálogo Elementos Constructivos CTE		

Tabla 17 - Parámetros de trabajo del ladrillo GERO utilizado

## 1.6. VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA UTILIZADOS

Con este coeficiente se calculan las conductividades que se utilizan en las simulaciones energéticas tomando como referencia el ladrillo de mortero macizo y perforado (M-0 HULC) de la base de datos del "Catálogo de Elementos Constructivos del CTE"[74] y todos los morteros sin dopar y dopados que se han ido realizado en los ensayos (M-0, M-5, M-10, M-15, M-20, M-25, M-30)

Los valores de conductividad térmica utilizados en la simulación son los siguientes:

DOPADO	$\lambda$ Macizo de ensayo	Coefficiente de reducción $\lambda$	$\lambda$ Perforado calculado
M-0 HULC	1,714	0,640	1,097
M-0	1,254	0,640	0,802
M-5	1,057	0,640	0,676
M-10	0,942	0,640	0,603
M-15	0,861	0,640	0,551
M-20	0,797	0,640	0,510
M-25	0,746	0,640	0,477
M-30	0,702	0,640	0,449

Tabla 18 - Conductividades térmicas utilizadas en la simulación

## 1.7. DENSIDADES MEDIAS DEL MORTERO UTILIZADO EN LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA

A continuación, se muestran los valores de referencia de densidades utilizados en la simulación en función de los resultados de las probetas de mortero y hormigón.

DOPADO	CEMENTO 32,5	CEMENTO 42,5	CEMENTO 52,5	Densidad Media (kg/m <sup>3</sup> )	Coef. Reducción de densidad
H-0	-	2276,88	2326,88	2301,88	1,00
M-0	2100,63	2081,88	2058,75	2080,42	1,00
M-5	2028,75	2020,63	2015,63	2021,67	0,97
M-10	2008,13	2011,25	1915	1978,13	0,95
M-15	1961,88	1940	1853,13	1918,34	0,92
M-20	1908,75	1947,5	1708,13	1854,79	0,89
M-25	1801,25	1730,63	1878,13	1803,34	0,87
M-30	1790	1773,13	1825,63	1796,25	0,86

Tabla 19 - Densidades medias de morteros dopados

## 1.8. COMPOSICIÓN DE LOS MORTEROS UTILIZADOS

La composición de los morteros utilizados en la simulación es la siguiente:

DOPADO	Grava	Arena	Cemento	Agua	Huesillo	Total	% en masa
H-0	40		8	5,1	0	53,1	0,00%
M-0		40	8	6,5	0	54,5	0,00%
M-5		38	8	6,5	0,71	53,21	1,33%
M-10		36	8	6	1,42	51,42	2,76%
M-15		34	8	6	2,1	50,1	4,19%
M-20		32	8	6	2,83	48,83	5,80%
M-25		30	8	6	3,54	47,54	7,45%
M-30		28	8	5,5	4,3	45,8	9,39%

Tabla 20 - Composición de los morteros utilizados en la simulación

## 1.9. CANTIDAD DE HUESO POR M<sup>2</sup> DE FACHADA

En la siguiente tabla se especifica la cantidad de kg de hueso de oliva que se incorpora por m<sup>2</sup> de fachada (tanto maciza en revestimiento como en ladrillo perforado).

También se añade la columna donde se especifica la energía máxima que se podría obtener de su combustión (PCI 4,489 kWh/kg de hueso de oliva según IDAE).

		cm de fachada -->		3	23	PCI Hueso -->	4,489 KWh/kg
DOPADO	% en hueso aceituna en masa total	kg Hueso/m <sup>3</sup> mortero macizo	kg hueso/m <sup>3</sup> mortero perforado	kg Hueso por m <sup>2</sup> de fachada maciza	kg Hueso por m <sup>2</sup> de fachada perforada	TOTAL kg hueso en en m <sup>2</sup> de fachada	Energía en combustión por m <sup>2</sup> de fachada
H-0	0,00%	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00 KWH/m <sup>2</sup>
M-0	0,00%	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00 KWH/m <sup>2</sup>
M-5	1,33%	<b>26,98</b>	<b>15,04</b>	0,81	3,46	<b>4,27</b>	19,16 KWH/m <sup>2</sup>
M-10	2,76%	<b>54,63</b>	<b>30,46</b>	1,64	7,01	<b>8,65</b>	38,81 KWH/m <sup>2</sup>
M-15	4,19%	<b>80,41</b>	<b>44,84</b>	2,41	10,31	<b>12,73</b>	57,13 KWH/m <sup>2</sup>
M-20	5,80%	<b>107,50</b>	<b>59,95</b>	3,22	13,79	<b>17,01</b>	76,37 KWH/m <sup>2</sup>
M-25	7,45%	<b>134,28</b>	<b>74,89</b>	4,03	17,22	<b>21,25</b>	95,40 KWH/m <sup>2</sup>
M-30	9,39%	<b>168,64</b>	<b>94,05</b>	5,06	21,63	<b>26,69</b>	119,81 KWH/m <sup>2</sup>

Tabla 21 - Cantidad de hueso de oliva utilizada por m<sup>2</sup> de fachada

## 1.10.RESTO DE ENVOLVENTE: FACHADA SATE

El resto de los elementos constituyentes de la envolvente (ventanas, puertas, medianeras, cubiertas y suelos en contacto con el terreno), no se modifican en la simulación, pero se adecúan a las necesidades de cumplimiento del Código Técnico de la Edificación (actual Real Decreto 732/2019) [10] en cada una de las 5 zonas climáticas determinadas.



*Ilustración 33 - Zonas climáticas según Código Técnico de la Edificación en España*

En este sentido, el principal elemento de la envolvente, sobre el que se incorporará y analizará el producto dopado es la fachada exterior.

La fachada objeto de estudio se configura como SATE que es un sistema de aislamiento térmico por el exterior, consistente en un panel aislante prefabricado adherido al muro de ladrillo (en este caso de poliestireno expandido EPS) que es fijado mecánicamente con adhesivo o anclajes.

El aislante se protege con un revestimiento exterior constituido por una capa de morteros de unos 3cm que, además, incorpora una malla de refuerzo y se aplica directamente sobre el panel aislante sin intersticios de aire o capa discontinua.

La composición de hojas del cerramiento de fachada tipo SATE (sistema de aislamiento térmico por el exterior) para la simulación base en el edificio de estudio es la siguiente:

- 1.- Capa de mortero de 3cm de espesor con  $\lambda=1,254 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- 2.- Aislamiento de poliestireno extendido con  $\lambda=0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  de espesor variable en función de la zona climática:
  - o Zona A (Almería): 5 cm.
  - o Zona B (Sevilla): 6 cm.
  - o Zona C (Barcelona): 8 cm.
  - o Zona D (Logroño): 11cm.
  - o Zona E (Soria): 12cm.
- 3.-Ladrillo GERO perforado de 11,5cm de espesor con  $\lambda=1,097 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- 4.-Cámara de aire sin ventilar vertical de espesor 2cm
- 5.-Ladrillo GERO perforado de 11,5cm de espesor con  $\lambda=1,097 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- 6.-Enlucido de yeso de espesor 2cm.

La capa número 1 se modifica en las simulaciones con mortero sin dopar y mortero dopado al 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de hueso de oliva triturado con los valores de conductividad obtenidos en los ensayos.

Las capas números 3 y 5 se modifican en las simulaciones con ladrillo perforado GERO procedente de la base de datos del programa con otro de las mismas dimensiones y características, pero con el añadido del dopado al 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de hueso de oliva triturado y con los valores de conductividad obtenidos en los ensayos multiplicados por el coeficiente 0,64 (ratio de conductividad entre ladrillo perforado y ladrillo macizo).

Se realizan, por tanto, múltiples simulaciones térmicas que calculan la reducción en la demanda conjunta de calefacción y refrigeración anuales ( $\text{KWh/m}^2$  y año) con la sustitución del ladrillo GERO perforado convencional por otro dopado con hueso de oliva en los  $988,52\text{m}^2$  de fachada del edificio modelo base.

## 2. MODELO EDIFICATORIO PARA SIMULACIÓN ENERGÉTICA

El modelo de edificación utilizado dispone de una tipología edificatoria de RESIDENCIAL EN BLOQUE basada en el modelo 6.2 del documento de Calificación energética de edificios existentes del IDAE [73].

Se elige este tipo de edificación por ser una tipología perfectamente válida para todos los entornos urbanos y todas las épocas constructivas.

Esta tipología se caracteriza por encontrarse entre medianeras, siendo una configuración muy habitual en la actualidad sobre todo en núcleos urbanos.

Como es habitual en este tipo de edificación se van a disponer de una zona común de acceso de escalera y ascensor, así como dos patios interiores para que todas las viviendas dispongan de un espacio abierto interior.

Para entrar en modificaciones de tipología, se dispone del "Catálogo de tipología edificatoria residencial. Ámbito: España" formalizado por el IVE (Instituto Valenciano de la Edificación) y que está enmarcado en las actividades del proyecto europeo EPISCOPE "Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks" [75].

El marco que establece el documento se basa en la clasificación tipológica de edificios de viviendas elaboradas durante el proyecto europeo denominado TABULA, predecesor de EPISCOPE.

Las características de la envolvente térmica del edificio son las siguientes:

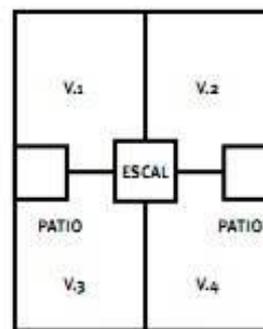
Fachadas:	988,52m <sup>2</sup>
Huecos	175,08m <sup>2</sup>
Medianeras:	569,6m <sup>2</sup>
Cubiertas:	395,71m <sup>2</sup>
Suelo en contacto con el terreno:	388m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>2516,914m<sup>2</sup></b>

Tabla 22 – Superficie total de la envolvente térmica del edificio

El comportamiento térmico del cerramiento de un edificio está condicionado por el ambiente interior, el ambiente exterior y por los materiales que forman parte de esta envolvente.

## Tipología 6

TIPO	Tipo 6.1	Tipo 6.2	Tipo 6.3
Tipología	Bloque	Bloque	Bloque
Nº de plantas (1)	2+PB	4+PB	6+PB
Posición	Entre medianeras	Entre medianeras	Entre medianeras
Orientación fachada ppal.	Sur	Sur	Sur
Ático	No	No	No
Sótano	No	No	No
Área de planta (m <sup>2</sup> )	365	365	365
Longitud de fachada ppal. (m)	20,3	20,3	20,3
% Huecos fachada ppal. (2)	26	26,24	26
% Huecos fachada posterior (3)	23	23,14	23
Posición de patios	(*)	(*)	(*)
Área total de patios (m <sup>2</sup> )	30	30	30
Profundidad de patio (m)	3	3	3
% Huecos fachadas patio orientación Sur (4)	2	1,89	2
% Huecos fachadas patio orientación Norte (5)	2	1,89	2
% Huecos fachadas patio orientación Este (6)	8	6,31	6
% Huecos fachadas patio orientación Oeste (7)	8	6,31	6
Área total de cajas de escaleras (m <sup>2</sup> )	15	15	15
Profundidad de la caja de escaleras (m)	3	3	3



FACHADA PRINCIPAL

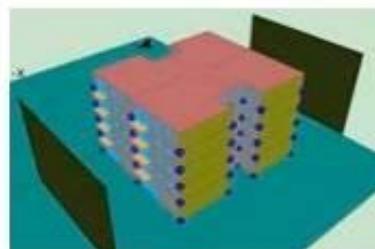


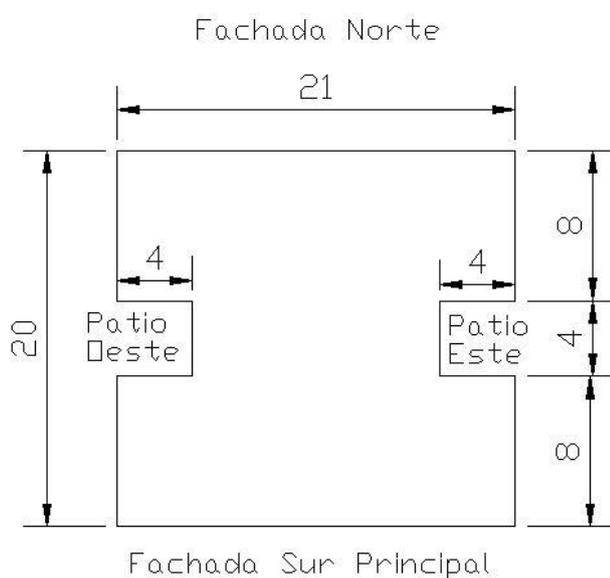
Ilustración 34- Características del modelo 6.2 Calificación energética de edificios existentes del IDAE

### 3. CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES DEL MODELO DE SIMULACIÓN

#### 3.1. MODELO EN PLANTA

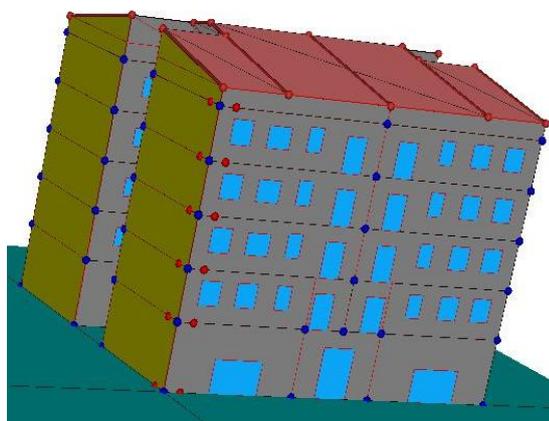
Se utiliza un modelo en planta con 21 metros de fachada principal al Sur y trasera al Norte y 20 metros de medianera perpendicular (Este y Oeste) de forma casi cuadrada.

En las dos fachadas medianeras se abren dos pequeños patios de dimensiones 4x4 (16m<sup>2</sup> cada uno).



*Ilustración 35 – Dimensiones en planta del edificio modelo*

El modelo simulado en la Herramienta Unificada tiene la siguiente volumetría 3D:



*Ilustración 36 - Modelo 3D del edificio*

## 3.2. PLANTAS

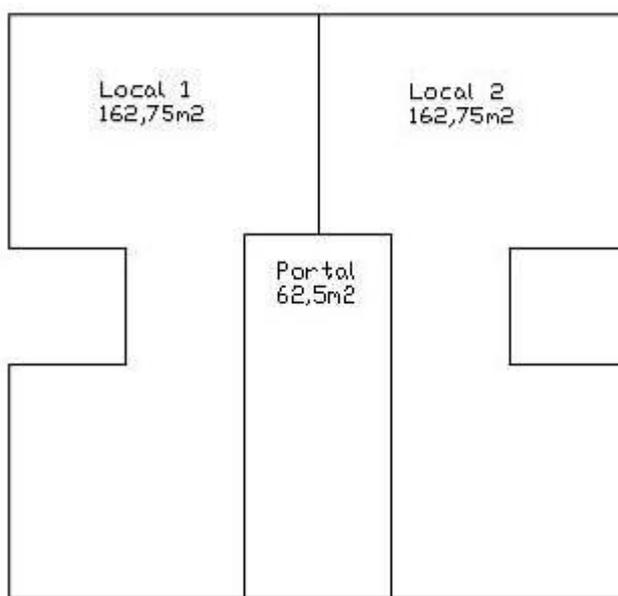
El bloque de edificios que se dispone para la simulación consta de:

- PLANTA BAJA: 4 metros de altura entresuelo y primera planta con acceso común y dos locales comerciales.
- CUATRO PLANTAS DE VIVIENDAS con una distribución de 4 viviendas por planta de unos 90,75m<sup>2</sup> por vivienda (3 metros de altura entre planta). Es el número de plantas más habitual entre las décadas estudiadas según el documento referencia del IDAE.
- PLANTA BAJO CUBIERTA INCLINADA destinada a trasteros y cuarto de ascensor.

## 3.3. PLANTA BAJA: LOCALES COMERCIALES Y PORTAL

No se dispone de planta sótano ya que en viviendas en el centro de los cascos urbanos no es una circunstancia habitual, de manera mayoritaria.

La planta baja está compuesta por el portal y el espacio destinado a uso comercial dividido en dos locales con una superficie total de 388m<sup>2</sup>.



*Ilustración 37 - Distribución de planta baja*

Esta planta baja completa se define como local no habitable dentro de la envolvente según el criterio 3 del CTE DBHE [10] en la caracterización de la envolvente.

Su superficie útil (388m<sup>2</sup>) se excluirá del cómputo de superficie para la limitación del consumo energético, aunque la divisoria entre el local y el uso residencial (forjado entre planta baja y planta primera) deberá cumplir la limitación de descompensaciones entre unidades de distinto uso.

- 1 La *envolvente térmica* está compuesta por todos los *cerramientos* y *particiones interiores*, incluyendo sus *puentes térmicos*, que delimitan todos los *espacios habitables* del edificio o parte del edificio. No obstante, a criterio del proyectista:

- a) podrá incluirse alguno o la totalidad de los espacios no habitables.

Esto permite incorporar a la *envolvente térmica* un local de instalaciones o un garaje en una vivienda unifamiliar, en caso de que resulte más interesante por cuestiones constructivas o de otra índole.

Igualmente, permite considerar los locales en bruto fuera o dentro de la *envolvente térmica*. La consideración de estos locales en el interior de la *envolvente térmica* tiene repercusión en la definición de las características de sus cerramientos, huecos y puentes térmicos pero no en el área útil para el cálculo de indicadores, como indica el apartado 4.6 de la sección HE0.

Por ejemplo, el caso de un local comercial en planta baja dentro de un edificio residencial privado podría tener las siguientes 3 posibilidades de evaluación:



**CASO 1:** Local habitable con perfil de uso definido: La limitación del consumo de *energía primaria* se realiza de manera independiente para cada uno de los usos diferenciados (residencial por un lado y no residencial por otro con sus respectivas superficies útiles para el cálculo). La divisoria entre local y uso residencial debe cumplir la exigencia de limitación de descompensaciones entre unidades de distinto uso (tabla 3.2-HE1).

**CASO 2:** Local no habitable considerado fuera de la *envolvente térmica*: La superficie útil considerada para la limitación del consumo de *energía primaria* no incluye la del local, puesto que esta no forma parte de la *envolvente térmica*. La divisoria entre el local y el uso residencial forma parte de la *envolvente térmica* y debe cumplir la limitación del *coeficiente global de transmisión de calor* (K).

**CASO 3:** Local no habitable considerado dentro de la *envolvente térmica*: De acuerdo con el apartado 4.6 de la sección HE0, la superficie útil considerada para la limitación del consumo de *energía primaria* excluye la del local, al tratarse de un espacio no habitable. La divisoria entre el local y el uso residencial debe cumplir la limitación de descompensaciones entre unidades de distinto uso (tabla 3.2-HE1).

- b) podrán excluirse espacios tales como:

- i) *espacios habitables* que vayan a permanecer no acondicionados durante toda la vida del edificio, tales como escaleras, ascensores o, pasillos no acondicionados,
- ii) espacios muy ventilados, con una ventilación permanente de, al menos, 10 dm<sup>3</sup>/s por m<sup>2</sup> de área útil de dicho espacio,
- iii) espacios con grandes aberturas permanentes al exterior, de al menos 0,003 m<sup>2</sup> por m<sup>2</sup> de área útil de dicho espacio.

Ilustración 38 - Consideraciones para la definición de la envolvente según CTE – Anejo C

Se desecha la opción de poner una actividad al local por varios motivos:

- Es difícil simular el comportamiento térmico real de las actividades teniendo en cuenta la gran variedad de actividades comerciales que existen.
- Aunque los edificios más antiguos es probable que tengan uso, también existen gran cantidad de locales comerciales sin uso.

- Los edificios más modernos o de reciente construcción es más probable que no tengan uso.
- Cualquier simulación con actividad es más favorable que sin ella de forma que es preferible optar por la opción de cálculo más restrictiva.

La planta baja dispone de varios huecos que no van a afectar demasiado a la simulación térmica puesto que se encuentran en una zona no habitable pero que también se modelan para realizar un estudio más exhaustivo y real.

De esta forma la fachada principal orientada al Sur dispone de una puerta de entrada de 2m de ancho por 3m de alto y cada uno de los locales dispone de una amplia cristalera de 3m de ancho por 2m de alto.

En la fachada trasera con orientación Norte se sitúan 4 puertas (dos por local) de 1,25m de ancho por 2,10m de alto.

Además, en los patios Este y Oeste se modeliza una puerta de acceso a cada uno de 0,9m de ancho x 2,10m de alto.

### 3.4. PLANTAS 1ª A 4ª: RESIDENCIAL DE VIVIENDAS

Por encima de la planta baja se disponen 4 plantas de viviendas siguiendo la tipología marcada por el modelo 6.2 del documento de Calificación energética de edificios existentes del IDAE[73].

Las medidas aproximadas del bloque de viviendas corresponden a las obtenidas para conseguir para cada planta 4 viviendas cercanas de 90,75m<sup>2</sup> cada una.

La edificación completa dispone, por tanto, de 16 viviendas.

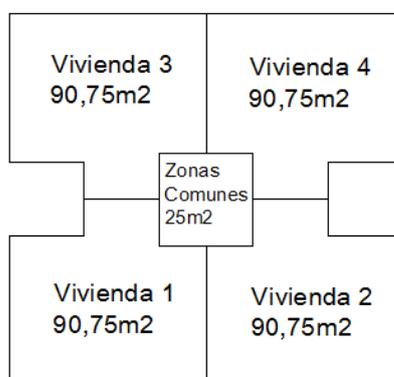


Ilustración 39 - Distribución de plantas 1ª a 4ª para viviendas

Cada una de las viviendas está configurada por los siguientes espacios con la correspondiente distribución en planta y porcentajes de huecos en fachadas:



*Ilustración 40 - Distribución de cada vivienda por estancias (Vivienda 1)*

- Sala de estar con una ventana de 1,25m x 1,40m y otra de 0,90m x 1,40m.
- Cocina con un balcón de 1,25x2,10m
- Dormitorio 2 con una ventana de 1,25m x 1,40m.
- Dormitorio 1 con una ventana al patio interior de 0,9m x 1,10m
- Pasillo con una ventana al patio interior de 0,5m x 1,10m.
- Baño 1
- Baño 2

En la siguiente tabla se especifica el resumen de superficies de cada una de las estancias, así como la superficie de huecos teniendo en cuenta las habituales restricciones de habitabilidad en las que las estancias principales (sala de estar y dormitorios) deben disponer al menos de un 10% de superficie de huecos.

	Superficie	Sup.Huecos	%Huecos
Pasillo	17,18	0,55	3%
Baño 1	5,77	0	0%
Baño 2	12,72	0	0%
Dormitorio 1	10,00	0,99	10%
Dormitorio 2	17,67	1,75	10%
Salón-comedor	16,96	3,01	18%
Cocina	10,45	2,625	25%
	90,75	8,925	10%

Tabla 23 - Distribución interior (superficie en planta y de huecos) de cada una de las viviendas

### 3.5. SUPERFICIE ÚTIL TOTAL DE PLANTA

La superficie útil total de planta del modelo asciende a 1552 m<sup>2</sup>.

Superficie Exterior Acumulada					2516,91 m <sup>3</sup>
Total Volumen					6596m <sup>3</sup>
Volumen local	388	4	1		1552m <sup>3</sup>
Volumen 4 plantas	388	12	1		4656m <sup>3</sup>
Bajo Cubierta	388				388m <sup>3</sup>
Superficie Útil					1552m <sup>2</sup>
Planta General	4	21	20		1680m <sup>2</sup>
Patios	4	4	4	2	-128m <sup>2</sup>

Ilustración 41 - Relación de superficies útiles y volúmenes del modelo

#### 3.5.1. ZONAS COMUNES

Las zonas comunes del edificio (escaleras, rellanos y ascensor) se consideran a todos los efectos parte de la envolvente, pero con un comportamiento como no acondicionado ya que no dispone de ningún tipo de instalación térmica de climatización.

En planta baja estas zonas comunes tienen una superficie total de 62,5m<sup>2</sup> mientras que en las plantas de viviendas esta superficie se reduce a un cuadrado de 5m x 5m para un total de 25m<sup>2</sup> donde se incluye el rellano, las escaleras y el ascensor.

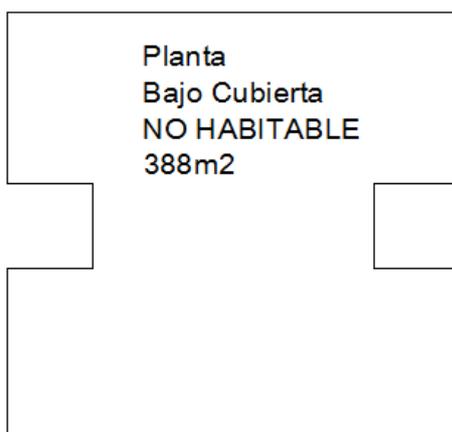
### 3.6. PLANTA BAJO CUBIERTA: TRASTEROS

Se opta por una opción de espacio bajo cubierta inclinada consistente en una zona de trasteros donde además se instala el cuarto de máquinas del ascensor.

Este espacio formará parte de la envolvente de la misma manera que la planta baja, aunque se considerarán espacios no habitables. Su superficie útil de 388m<sup>2</sup> se excluirá del cómputo de superficie para la limitación del consumo energético.

Deberán cumplir los mismos requisitos de planta baja ya que se define como local no habitable dentro de la envolvente según el criterio 3 del CTE DBHE [10] en la caracterización de la envolvente

Asimismo, la divisoria entre el local y el uso residencial (forjado entre plantas) deberá cumplir la limitación de descompensaciones entre unidades de distinto uso.



*Ilustración 42 - Distribución de planta NO HABITABLE bajo cubierta.*

Esta planta bajo cubierta no dispone de aberturas al exterior y se configura con un antepecho de 1m de altura donde se apoya la cubierta inclinada que cubre esta planta y el edificio y que tiene una superficie total de 395,71m<sup>2</sup>.

## 4. ENVOLVENTE TÉRMICA

La envolvente térmica de un edificio es el conjunto de cerramientos (suelos, cubiertas, fachadas...) que separan los espacios habitables con el exterior (terreno, aire y otros edificios) y las particiones interiores que separan los espacios habitables de los no habitables que a su vez están en contacto con el exterior.

La envolvente del edificio modelizado está compuesta por los siguientes tipos de cerramientos:

Fachadas:	988,52m <sup>2</sup>
Huecos	175,08m <sup>2</sup>
Medianeras:	569,6m <sup>2</sup>
Cubiertas:	395,71m <sup>2</sup>
Suelo en contacto con el terreno:	388m <sup>2</sup>
TOTAL	2516,914m <sup>2</sup>

Tabla 24 - Superficie total de la envolvente térmica del edificio

Además, dispone de dos forjados especiales (el de planta baja con planta primera y el de planta cuarta con planta bajo cubierta) que no forman parte de la envolvente térmica pero que tienen un comportamiento térmico especial ya que separan las zonas consideradas como habitables (viviendas) de zonas no habitables.

A continuación, se detallan las características de cada uno de los tipos de cerramientos que componen la envolvente.

## 4.1. CERRAMIENTO DE FACHADA

Se trata del cerramiento principal en contacto con el exterior.

Se modeliza todo el edificio con la misma tipología de fachada incluidos los patios interiores.

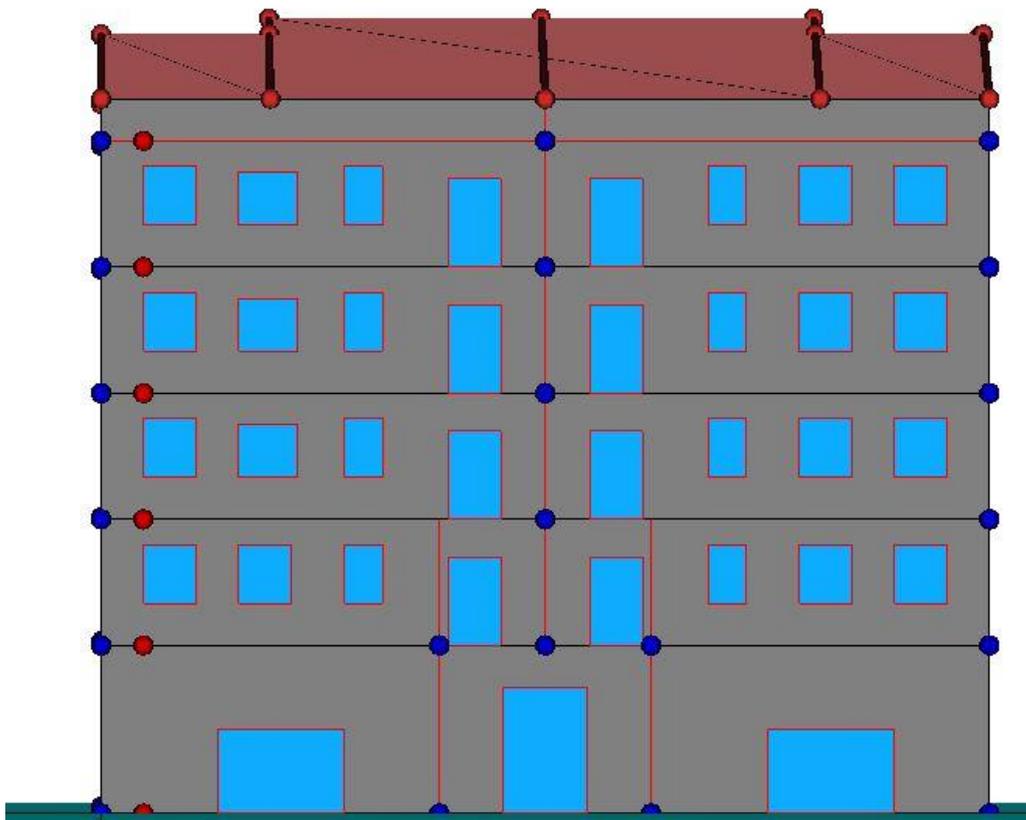
Tipo Fachada	U <sub>M</sub>		
Fachada Norte	21,00m	17,00m	357,00m <sup>2</sup>
Patio Norte Izq	4,00m	18,60m	74,40m <sup>2</sup>
Patio Norte Derecha	4,00m	18,60m	74,40m <sup>2</sup>
TOTAL NORTE c/HUECOS			505,80m <sup>2</sup>
Descuento Huecos			-77,50m <sup>2</sup>
TOTAL NORTE SIN HUECOS			428,3m <sup>2</sup>

Fachada Sur	21,00m	17,00m	357,00m <sup>2</sup>
Patio Sur Izq	4,00m	18,60m	74,40m <sup>2</sup>
Patio Sur Derecha	4,00m	18,60m	74,40m <sup>2</sup>
TOTAL SUR c/HUECOS			505,80m <sup>2</sup>
Descuento Huecos			-85,00m <sup>2</sup>
TOTAL SUR SIN HUECOS			420,8m <sup>2</sup>

Patio Este Derecho	4,00m	18,60m	74,40m <sup>2</sup>
Triángulo Derecho	0,80m	2,00ud	1,60m <sup>2</sup>
TOTAL ESTE SIN HUECOS			69,71m <sup>2</sup>
Patio Oeste Izquierdo	4,00m	18,60m	74,40m <sup>2</sup>
Triángulo Izquierdo	0,80m	2,00ud	1,60m <sup>2</sup>
TOTAL OESTE SIN HUECOS			69,71m <sup>2</sup>

Ilustración 43 - Cerramientos de fachada

#### 4.1.1. FACHADA SUR



*Ilustración 44 - Alzado de la fachada Sur*

Se trata de la fachada principal del edificio y da en su totalidad al exterior.

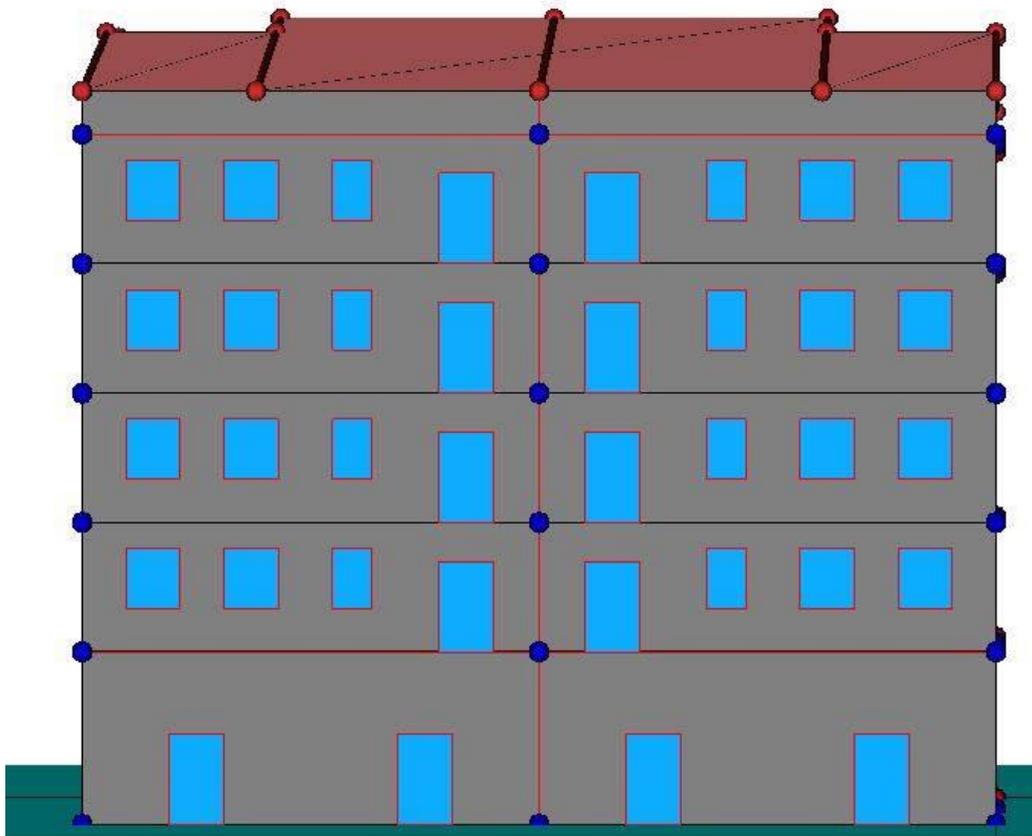
Como se observa en la figura dispone en planta baja de:

- Puerta de acceso al portal de 2m de ancho por 3m de alto
- 2 cristaleras de acceso a los locales de 3m de ancho por 2m de alto.

En las plantas de viviendas se observan:

- 4 ventanas de 1,25m x 1,40m por planta (16 en total)
- 2 ventanas de 0,9m x 1,10m por planta (8 en total)
- 2 puertas de acceso a balcón a cocina que no se simula térmicamente de 1,25m x 2,10 por planta (8 en total)

#### 4.1.2. FACHADA NORTE



*Ilustración 45 - Alzado de la fachada Norte*

La fachada Norte es similar a la fachada Sur tanto en dimensiones, materiales como huecos. Sólo se diferencia de esta en planta baja donde se sustituyen las 2 cristalerías por 4 puertas de acceso a los locales y se elimina la puerta principal.

Los huecos de la fachada son, por tanto:

- 2 puertas de acceso trasero a locales de 1,25m x 2,1m (4 en total)
- 4 ventanas de 1,25m x 1,40m por planta (16 en total)
- 2 ventanas de 0,9m x 1,10m por planta (8 en total)
- 2 puertas de acceso a balcón a cocina que no se simula térmicamente de 1,25m x 2,10 por planta (8 en total).

## 4.2. CERRAMIENTO MEDIANERA

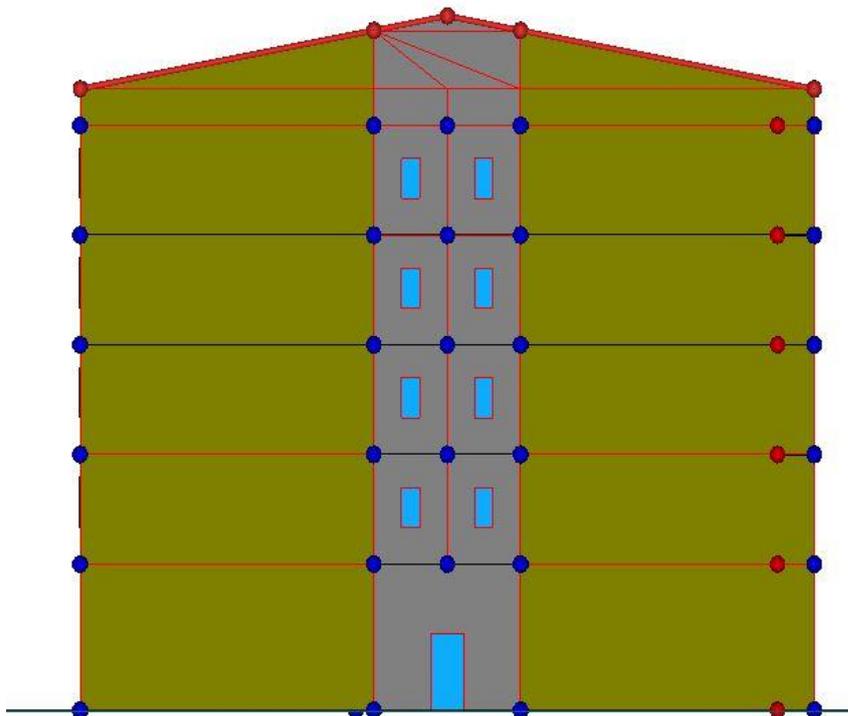
Se ha elegido un modelo edificatorio entre medianeras para la simulación.

Los cerramientos de medianeras se encuentran adyacentes a otros edificios residenciales de modo que, aunque su composición se va a modelizar de forma equivalente al cerramiento de fachada su comportamiento térmico va a ser distinto puesto que no se encuentran en contacto con el aire exterior.

Tipo Medianera	$U_{MD}$		
Medianera Este	16,00m	17,00m	272,00m <sup>2</sup>
Triángulo Bajo Cub.	6,40m	2,00ud	12,80m <sup>2</sup>
<b>TOTAL ESTE</b>	<b>284,8m<sup>2</sup></b>		
Medianera Oeste	16,00m	17,00m	272,00m <sup>2</sup>
Triángulo Bajo Cub.	6,40m	2,00ud	12,80m <sup>2</sup>
<b>TOTAL OESTE</b>	<b>284,8m<sup>2</sup></b>		

*Ilustración 46 - Cerramientos de medianera del modelo*

#### 4.2.1. MEDIANERA Y PATIO ESTE



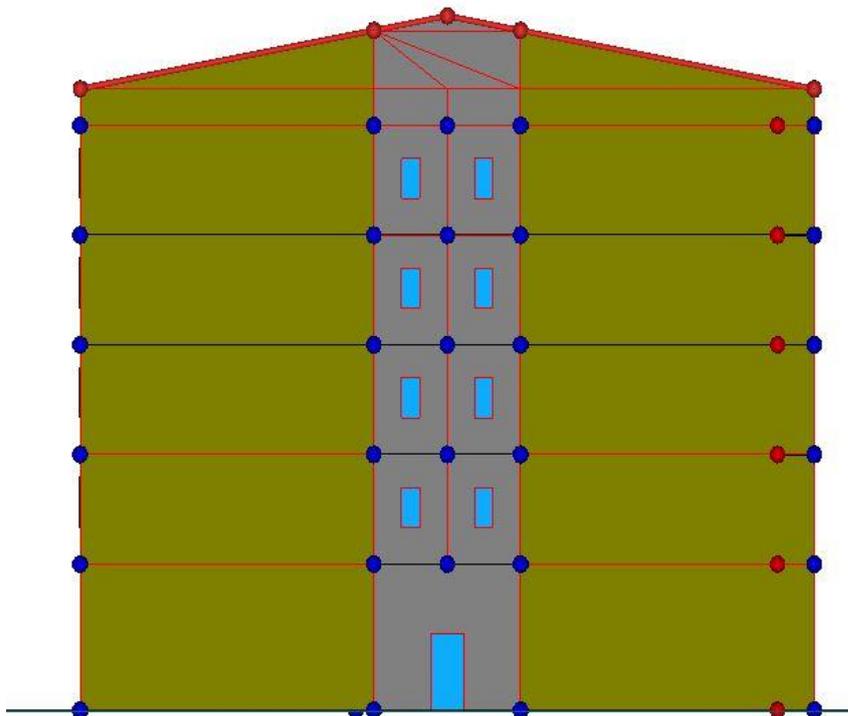
*Ilustración 47 - Alzado de la fachada Este*

La fachada Este se encuentra en contacto con otro edificio adyacente en una configuración que habitualmente se define como medianera. Aunque las características constructivas son las mismas que la fachada su comportamiento térmico es distinto puesto que no da al exterior, sino que se encuentra en contacto con una superficie habitable.

En el centro de la fachada se dispone de un patio de luces de 4m de ancho por 4m de largo (16m<sup>2</sup> en total) que divide la fachada en dos medianeras Este de 8m de largo y 3 sub-fachadas al exterior de 4m de ancho que disponen de los siguientes huecos:

- Sub-fachada Norte: Una ventana de 0,9m x 1,10m por planta (4 en total)
- Sub-fachada Sur: Una ventana de 0,9m x 1,10m por planta (4 en total)
- Sub-fachada Este:
  - o Puerta de acceso al patio en planta baja de 0,9m x 2,10m de alto
  - o 2 ventanas de 0,5m x 1,10m en plantas de viviendas (8 en total)

#### 4.2.2. MEDIANERA Y PATIO OESTE



*Ilustración 48 - Alzado de la fachada Oeste*

La fachada Oeste es completamente simétrica y de características similares a la fachada Este.

Dispone, por tanto, de un patio de luces en el centro de 4m de ancho por 4m de largo (16m<sup>2</sup> en total) que divide la fachada en dos medianeras Oeste de 8m de largo y 3 sub-fachadas al exterior de 4m de ancho que disponen de los siguientes huecos:

- Sub-fachada Norte: Una ventana de 0,9m x 1,10m por planta (4 en total)
- Sub-fachada Sur: Una ventana de 0,9m x 1,10m por planta (4 en total)
- Sub-fachada Este:
  - o Puerta de acceso al patio en planta baja de 0,9m x 2,10m de alto
  - o 2 ventanas de 0,5m x 1,10m en plantas de viviendas (8 en total)

### 4.3. SUELO EN CONTACTO CON EL TERRENO

La planta baja se encuentra en contacto con el terreno en toda la superficie para un total de 388m<sup>2</sup>.

La planta baja del edificio destinada a uso comercial y con características no habitables a efecto residencial se encuentra sobre una solera de hormigón a cota 0 sobre el terreno.

No dispone de garaje por ser la configuración más habitual en entornos urbanos en vistas al modelizado de construcciones tipo de mediados/finales del siglo XX.

Suelo Terreno	U <sub>r</sub>		
Suelo No habitable	20,00m	21,00m	420,00m <sup>2</sup>
Patio Izq	-4,00m	4,00m	-16,00m <sup>2</sup>
Patio Derecho	-4,00m	4,00m	-16,00m <sup>2</sup>
<b>TOTAL SUELOS</b>	<b>388m<sup>2</sup></b>		

*Ilustración 49 - Suelos en contacto con el terreno*

### 4.4. CUBIERTA

El modelo dispone de una cubierta inclinada que se sitúa sobre una planta bajo cubierta destinada a uso no habitable tipo trasteros.

La planta bajo cubierta se cierra mediante una cubierta inclinada para una superficie en planta de 388m<sup>2</sup> y una superficie real en 3D de 395,71m<sup>2</sup>.

La cubierta no dispone de lucernarios.

Cubierta	U <sub>r</sub>	
Cubierta No habitable		395,71m <sup>2</sup>
<b>TOTAL CUBIERTAS</b>	<b>395,7144m<sup>2</sup></b>	

*Ilustración 50 - Resumen de cubiertas del modelo*

## 4.5. HUECOS

En este tipo de cerramiento se incluyen todas las tipologías de ventanas, puertas y cristaleras del edificio.

Existen de varios tamaños, pero para simplificar el modelo todos se van a considerar de la misma composición.

A medida que la normativa se hace más exigente el porcentaje de marco con respecto al hueco total se hace un poco mayor en consonancia con la evolución tecnológica.

Atendiendo a lo dispuesto en la Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios. Soluciones de Aislamiento con Vidrios y Cerramientos del IDAE [76], las ventanas de formato comercial tienen un porcentaje de marco comprendido entre el 25% y el 35%.

Se va a utilizar un porcentaje para marcos del 25% para todos los huecos a efectos del cálculo de la transmitancia térmica.

La relación de huecos en el edificio es la siguiente:

	Fachada Norte	Patio Norte Izq.	Patio Norte Dcho.	Fachada Sur	Patio Sur Izq.	Patio Sur Dcho.	Medianera Este	Patio Este	Medianera Oeste	Patio Oeste
<b>HUECOS</b>										
175,08m <sup>2</sup>	69,58m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	77,08m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	6,29m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	6,29m <sup>2</sup>
Ventana	16uds			16uds						
1,25m	28,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	28,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>					
Puerta Balcón	8uds			8uds						
1,25m	21,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	21,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>					
Ventana	8uds			8uds						
0,90m	10,08m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	10,08m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>					
Puerta portal				1uds						
2,00m	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	6,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>
Cristaleras				2uds						
3,00m	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	12,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>					
Puertas traseras	4uds									
1,25m	10,50m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>
Ventanas		4uds	4uds		4uds	4uds				
0,90m	0,00m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>
Ventanas								8uds		8uds
0,50m	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	4,40m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	4,40m <sup>2</sup>
Puerta de patio								1uds		1uds
0,90m	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	1,89m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	1,89m <sup>2</sup>

Tabla 25 - Relación de huecos y superficies de huecos por fachadas

Tipo Huecos	U <sub>H</sub>			
Fachada Norte	16 uds	1,25m	1,40m	28,00m <sup>2</sup>
	8 uds	0,90m	1,40m	10,08m <sup>2</sup>
	12 uds	1,25m	2,10m	31,50m <sup>2</sup>
Patio Norte Izq	4 uds	0,90m	1,10m	3,96m <sup>2</sup>
Patio Norte Derecha	4 uds	0,90m	1,10m	3,96m <sup>2</sup>
<b>Total huecos NORTE</b>	<b>77,5m<sup>2</sup></b>			
Fachada Sur	16 uds	1,25m	1,40m	28,00m <sup>2</sup>
	8 uds	0,90m	1,40m	10,08m <sup>2</sup>
	8 uds	1,25m	2,10m	21,00m <sup>2</sup>
Patio Sur Izq	4 uds	0,90m	1,10m	3,96m <sup>2</sup>
Patio Sur Derecha	4 uds	0,90m	1,10m	3,96m <sup>2</sup>
Puerta principal	3 uds	2,00m	3,00m	18,00m <sup>2</sup>
				0,00m <sup>2</sup>
				0,00m <sup>2</sup>
<b>Total huecos SUR</b>	<b>85m<sup>2</sup></b>			
Puerta Patio Este	1 uds	0,90m	2,10m	1,89m <sup>2</sup>
Fachada Este	8 uds	0,50m	1,10m	4,40m <sup>2</sup>
<b>Total huecos ESTE</b>	<b>6,29m<sup>2</sup></b>			
Puerta Patio Este	1 uds	0,90m	2,10m	1,89m <sup>2</sup>
Fachada Oeste	8 uds	0,50m	1,10m	4,40m <sup>2</sup>
<b>Total huecos OESTE</b>	<b>6,29m<sup>2</sup></b>			

*Ilustración 51 - Resumen de huecos del modelo*

## 4.6. RESUMEN DE FACHADAS

	NORTE			SUR			ESTE		OESTE	
	Fachada Norte	Patio Norte Izq.	Patio Norte Dcho.	Fachada Sur	Patio Sur Izq.	Patio Sur Dcho.	Medianera Este	Patio Este	Medianera Oeste	Patio Oeste
<b>FACHADAS</b>										
Planta Baja	84m <sup>2</sup>	16m <sup>2</sup>	16m <sup>2</sup>	84m <sup>2</sup>	16m <sup>2</sup>	16m <sup>2</sup>	64m <sup>2</sup>	16m <sup>2</sup>	64m <sup>2</sup>	16m <sup>2</sup>
Huecos	10,5m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	18m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	1,89m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	1,89m <sup>2</sup>
Total	252m <sup>2</sup>	48m <sup>2</sup>	48m <sup>2</sup>	252m <sup>2</sup>	48m <sup>2</sup>	48m <sup>2</sup>	192m <sup>2</sup>	48m <sup>2</sup>	192m <sup>2</sup>	48m <sup>2</sup>
Huecos	59,08m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	59,08m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	4,4m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	4,4m <sup>2</sup>
Pl. Bajo Cub	21m <sup>2</sup>	10,4m <sup>2</sup>	10,4m <sup>2</sup>	21m <sup>2</sup>	10,4m <sup>2</sup>	10,4m <sup>2</sup>	28,8m <sup>2</sup>	12m <sup>2</sup>	28,8m <sup>2</sup>	12m <sup>2</sup>
Huecos	0m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>
Total	357m <sup>2</sup>	74,4m <sup>2</sup>	74,4m <sup>2</sup>	357m <sup>2</sup>	74,4m <sup>2</sup>	74,4m <sup>2</sup>	284,8m <sup>2</sup>	76m <sup>2</sup>	284,8m <sup>2</sup>	76m <sup>2</sup>
Huecos	69,58m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	77,08m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	6,29m <sup>2</sup>	0m <sup>2</sup>	6,29m <sup>2</sup>
%Huecos	19,49%	5,32%	5,32%	21,59%	5,32%	5,32%	0,00%	8,28%	0,00%	8,28%
	505,8m <sup>2</sup>			505,8m <sup>2</sup>			360,8m <sup>2</sup>		360,8m <sup>2</sup>	
	77,5m <sup>2</sup>			85m <sup>2</sup>			6,29m <sup>2</sup>		6,29m <sup>2</sup>	
	15,32%			16,81%			1,74%		1,74%	

Tabla 26 - Tabla resumen de fachadas del modelo

## 4.7. RESUMEN DE HUECOS

HUECOS		Fachada Norte	Patio Norte Izq.	Patio Norte Dcho.	Fachada Sur	Patio Sur Izq.	Patio Sur Dcho.	Medianera Este	Patio Este	Medianera Oeste	Patio Oeste
175,08m <sup>2</sup>		69,58m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	77,08m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	6,29m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	6,29m <sup>2</sup>
Ventana		16uds			16uds						
1,25m	1,40m	28,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	28,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>					
Puerta Balcón		8uds			8uds						
1,25m	2,10m	21,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	21,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>					
Ventana		8uds			8uds						
0,90m	1,40m	10,08m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	10,08m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>					
Puerta portal					1uds						
2,00m	3,00m	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	6,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>
Cristaleras					2uds						
3,00m	2,00m	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	12,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>					
Puertas traseras		4uds									
1,25m	2,10m	10,50m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>
Ventanas			4uds	4uds		4uds	4uds				
0,90m	1,10m	0,00m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	3,96m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>
Ventanas									8uds		8uds
0,50m	1,10m	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	4,40m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	4,40m <sup>2</sup>
Puerta de patio									1uds		1uds
0,90m	2,10m	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	1,89m <sup>2</sup>	0,00m <sup>2</sup>	1,89m <sup>2</sup>

Tabla 27 - Resumen de huecos del modelo

## 4.8. FORJADOS CON ZONAS NO HABITABLES

Además de los 5 grupos de cerramientos de los que dispone la envolvente térmica el edificio tiene dos forjados especiales (el de planta baja con planta primera y el de planta cuarta con planta bajo cubierta) que no forman parte de la envolvente térmica pero que tienen un comportamiento térmico especial ya que separan las zonas consideradas como habitables (viviendas) de zonas no habitables.

Este tipo de forjado tiene requisitos en cuanto a transmitancias máximas.

## 4.9. PARTICIONES VERTICALES INTERIORES

Se trata de la configuración del tipo de cerramiento para la división interior de las viviendas.

No forma parte de la envolvente puesto que separa zonas habitables y/o consideradas adiabáticas.

Su definición es necesaria para el modelizado del edificio y si separan espacios habitables con no habitables como es la partición que une las viviendas con las zonas comunes tiene requisitos de cumplimiento o de exigencias mínimas en cuanto a valores de transmitancia.

La partición entre espacios habitables que se utiliza tiene una transmitancia térmica de  $2,25\text{W/m}^2\text{K}$ .

S1 planta con planta baja	20,00m	21,00m	420,00m <sup>2</sup>
Patio Izq	-4,00m	4,00m	-16,00m <sup>2</sup>
Patio Derecho	-4,00m	4,00m	-16,00m <sup>2</sup>
<b>S1 Total planta baja</b>	<b>388m<sup>2</sup></b>		
S4 planta con planta bajo cubierta	20,00m	21,00m	420,00m <sup>2</sup>
Patio Izq	-4,00m	4,00m	-16,00m <sup>2</sup>
Patio Derecho	-4,00m	4,00m	-16,00m <sup>2</sup>
<b>S4 Total planta bajo cubierta</b>	<b>388m<sup>2</sup></b>		
<b>TOTAL Particion int. Horizontal</b>	<b>0m<sup>2</sup></b>		

*Ilustración 52 - Resumen particiones interiores distinto uso del modelo*

## 4.10. PUENTES TÉRMICOS

Según el Código Técnico de la Edificación [10], en su Documento Básico HE, sección HE1, se define puente térmico como *“aquella zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento”*

*En otra definición la norma UNE-EN ISO 10211 [77] define puente térmico como “aquella parte del cerramiento de un edificio donde la resistencia térmica normalmente uniforme cambia significativamente debido a: penetraciones completas o parciales en el cerramiento de un edificio de materiales con diferente conductividad térmica. un cambio en el espesor de la fábrica o una diferencia entre las áreas internas o externas, tales como juntas entre paredes, suelos, o techos”*

En cualquier caso, se trata de zonas de especial relevancia porque coincide con irregularidades donde aumenta la transmitancia térmica del cerramiento con la consiguiente pérdida energética, así como de alto riesgo por la formación de condensaciones superficiales debidas a la disminución de la temperatura de las superficies interiores (en condiciones de invierno).

Su estudio y relevancia en cualquier estudio térmico es fundamental.

Para las simulaciones de los modelos correspondientes se utilizan los siguientes coeficientes para puentes térmicos en el programa de cálculo Herramienta Unificada LIDER-CALENER, siendo valores que permiten que el modelo cumpla las exigencias normativas.

Tipo de puente térmico	Longitud(m)	Y(Wm/K)	L*Y(W/K)
Frente de forjado	310	0,12	37,2
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,384
Esquinas interiores	74,4	-0,16	-11,904
Esquinas exteriores	0	0,11	0
Alfeizar	112,05	0,08	8,964
Dinteles/Capialzados	112,05	0,1	11,205
Jambas	310,3	0,04	12,412
Suelos en contacto con el terreno	36,1	0,57	20,577
Pilares	0	1,2	0
Forjado interior en contacto con aire	0	0,86	0
<b>Σtotal puentes térmicos</b>	1199,05	0,26	312,84

Tabla 28 - Valores de puentes térmicos para la simulación energética inicial

## 5. COMPARACIÓN ENTRE MODELOS

La comparación entre el modelo definido por el IDAE en el que se basa el modelo y el simulado es la siguiente:

	Modelo	Tipo 6.2
Tipología	Bloque	Bloque
Nºde Plantas	4+PB	4+PB
Posición	Entre medianeras	Entre medianeras
Orientación Fachada Principal	Sur	Sur
Ático	No	No
Sótano	No	No
Área de planta	388	365
Longitud de fachada principal	21	20,3
% Huecos fachada principal (Sup.Habitable)	23,44%	
% Huecos fachada principal (Total)	21,59%	26,24%
% Huecos fachada trasera (Sup.Habitable)	23,44%	
% Huecos fachada trasera (Total)	19,49%	23,14%
Área total de patios (m2)	32	30
Profundidad de patio (m)	4	3
Área dtotal de caja de escaleras (m2)	25	15
Profundidad de caja de escaleras (m)	5	3
%Huecos fachadas patio Sur (Sup.Habitable)	8,25%	
%Huecos fachadas patio Sur (Total)	5,32%	1,89%
%Huecos fachadas patio Norte (Sup.Habitable)	8,25%	
%Huecos fachadas patio Norte (Total)	5,32%	1,89%
%Huecos fachadas patio Este (Sup.Habitable)	9,17%	
%Huecos fachadas patio Este (Total)	8,28%	6,31%
%Huecos fachadas patio Oeste (Sup.Habitable)	9,17%	
%Huecos fachadas patio Oeste (Total)	8,28%	6,31%

Tabla 29 - Comparación entre modelos

## 6. CUMPLIMIENTO POR EL MODELO EDIFICATORIO DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE)

### 6.1. ZONAS CLIMÁTICAS SEGÚN CTE

La diferenciación por zonas climáticas de las 52 provincias españolas se realiza en base a dos mapas climáticos que dividen en dos grupos climáticos fijados por el Código Técnico de la Edificación [10].

- A, B, C, D y E que reflejan la severidad climática en invierno
- 1, 2, 3, 4 que reflejan la severidad climática en verano

En función de estos dos mapas, las capitales de provincia españolas se resumen de este modo:

- 5 en la zona A3
- 1 en la zona A4
- 6 en la zona B3
- 4 en la zona B4
- 6 en la zona C1
- 3 en la zona C2
- 1 en la zona C3
- 4 en la zona C4
- 4 en la zona D1
- 8 en la zona D2
- 6 en la zona D3
- 4 en la zona E1

Por grupos de severidad de invierno, que es la que tiene una mayor incidencia en las exigencias térmicas de cumplimiento de la normativa, las capitales de provincia se distribuyen de la siguiente manera:

- 6 en la zona A
- 10 en la zona B
- 14 en la zona C
- 18 en la zona D
- 4 en la zona E

Provincia Simulada	Zonas climáticas equivalentes	CTE2009
Albacete	Albacete	D3
Alicante	Alicante	B4
Almería	Almería	A4
Badajoz	Badajoz	C4
Barcelona	Barcelona	C2
Bilbao	Bilbao, La Coruña, Pontevedra	C1
Córdoba	Córdoba	B4
Cuenca	Cuenca, Segovia, Teruel	D2
San Sebastián	San Sebastián	C1
Granada	Granada	C3
Huelva	Huelva	B4
Jaén	Jaén	C4
Lérida	Lérida	D3
Logroño	Logroño	D2
Lugo	Lugo	D1
Madrid	Madrid, Ciudad Real, Guadalajara	D3
Málaga	Málaga, Cádiz, Melilla	A3
Orense	Gerona, Orense	C2
Oviedo	Oviedo	C1
Las Palmas	Ls Palmas de Gran Canaria, Santa Cruz de Tenerife	A3
Salamanca	Salamanca	D2
Santander	Santander	C1
Sevilla	Sevilla	B4
Soria	Soria, Ávila, Burgos, León	E1
Toledo	Toledo, Cáceres	C4
Valencia	Valencia, Castellón, Ceuta, Murcia, Palma de Mallorca, Tarragona	B3
Valladolid	Valladolid, Huesca, Zamora	D2
Vitoria	Vitoria, Palencia, Pamplona	D1
Zaragoza	Zaragoza	D3

Tabla 30 - Distintas zonas climáticas de capitales de provincia según CTE2019.

## 6.2. EVOLUCIÓN DE ZONAS CLIMÁTICAS

Las diferentes normativas de edificación han ido desarrollando nuevos patrones climáticos en los que se han clasificado las distintas provincias en España.

Así, por ejemplo, la NBE79 [52] generaba una doble zonificación climática (Mapa 1 y Mapa 2) que podía clasificar las capitales de provincia en dos categorías:

- A, B, C, D y E a efectos del cálculo de la  $K_G$ .
- V, W, X, Y, Z a efectos del cálculo de los valores máximos de K.

Por otra parte, los diferentes Códigos Técnicos de la Edificación definen las zonas climáticas mediante:

- Una letra para la clasificación de la severidad climática de invierno (A, B, C, D, E y  $\alpha$ ) que suele definir los valores máximos de transmitancia térmica.
- Un número para la clasificación de verano (1, 2, 3, 4).



Ilustración 53 - Zonificación climática en España según CTE2019

Pero incluso entre los distintos Códigos Técnicos aprobados la zonificación climática ha evolucionado de forma que, aunque en la mayoría de las capitales de provincia españolas la clasificación climática no ha evolucionado en otras si lo ha hecho.

Por ejemplo, Oviedo en el Código Técnico del 2009 tenía una zonificación C1 mientras que en los siguientes ha pasado a ser D1. Lo mismo ocurre con las provincias canarias de Las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife que tenían en 2009 una clasificación especial  $\alpha 3$  mientras que en 2013 y 2020 pasan a ser A3.

Es por eso por lo que la simulación debe abarcar todas las distintas configuraciones de localizaciones.

En la siguiente tabla se puede ver la evolución de todas las zonificaciones climáticas en las distintas normativas aprobadas:

	Zonas climáticas			
	NBE79	CTE2006	CTE2013	CTE2020
Albacete	DZ	D3	D3	D3
Alicante	AW	B4	B4	B4
Almería	AW	A4	A4	A4
Ávila	EZ	E1	E1	E1
Badajoz	BX	C4	C4	C4
Barcelona	BW	C2	C2	C2
Bilbao	CW	C1	C1	C1
Burgos	EZ	E1	E1	E1
Cáceres	CX	C4	C4	C4
Cádiz	AW	A3	A3	A3
Castellón	BW	B3	B3	B3
Ceuta	BW	B3	B3	B3
Ciudad Real	DY	D3	D3	D3
Córdoba	BX	B4	B4	B4
La Coruña	CW	C1	C1	C1
Cuenca	EZ	D2	D2	D2
San Sebastián	CW	C1	D1	D1
Gerona	CX	C2	D2	D2
Granada	CY	C3	C3	C3
Guadalajara	DY	D3	D3	D3
Huelva	BW	B4	A4	A4
Huesca	DY	D2	D2	D2
Jaén	CW	C4	C4	C4
León	EZ	E1	E1	E1
Lérida	CY	D3	D3	D3
Logroño	DX	D2	D2	D2
Lugo	DX	D1	D1	D1
Madrid	DY	D3	D3	D3
Málaga	AW	A3	A3	A3
Melilla	AW	A3	A3	A3
Murcia	BW	B3	B3	B3
Orense	CX	C2	D2	D2
Oviedo	CX	C1	D1	D1
Palencia	DY	D1	D1	D1
Palma de Mallorca	BW	B3	B3	B3
Las Palmas de Gran Canaria	AV	A3	<b>α3</b>	<b>α3</b>
Pamplona	DY	D1	D1	D1
Pontevedra	CW	C1	C1	C1
Salamanca	DZ	D2	D2	D2
Santa Cruz de Tenerife	AV	A3	<b>α3</b>	<b>α3</b>
Santander	BW	C1	C1	C1
Segovia	EZ	D2	D2	D2
Sevilla	BW	B4	B4	B4
Soria	EZ	E1	E1	E1
Tarragona	BW	B3	B3	B3
Teruel	EZ	D2	D2	D2
Toledo	CX	C4	C4	C4
Valencia	BW	B3	B3	B3
Valladolid	DY	D2	D2	D2
Vitoria	DY	D1	D1	D1
Zamora	DY	D2	D2	D2
Zaragoza	CX	D3	D3	D3

Tabla 31 – Evolución de las zonas climáticas de las capitales de provincia en España

### 6.3. PRIMERAS SIMULACIONES TÉRMICAS

Por lo tanto, se han comprobado todas las distintas combinaciones climáticas que han dado lugar a cambios a lo largo del tiempo y se han detectado 28 distintas.

Estas 28 combinaciones son las que se simularán mediante la utilización de una localización de referencia.

Son las siguientes:

Provincia	Zonas climáticas equivalentes	CTE2019	CTE2013	CTE2009	NBE 79
Albacete	Albacete	D3	D3	D3	DZ
Alicante	Alicante	B4	B4	B4	AW
Almería	Almería	A4	A4	A4	AW
Badajoz	Badajoz	C4	C4	C4	BX
Barcelona	Barcelona	C2	C2	C2	BW
Bilbao	Bilbao, La Coruña, Pontevedra	C1	C1	C1	CW
Córdoba	Córdoba	B4	B4	B4	BX
Cuenca	Cuenca, Segovia, Teruel	D2	D2	D2	EZ
San Sebastián	San Sebastián	D1	D1	C1	CW
Granada	Granada	C3	C3	C3	CY
Huelva	Huelva	A4	A4	B4	BW
Jaén	Jaén	C4	C4	C4	CW
Lérida	Lérida	D3	D3	D3	CY
Logroño	Logroño	D2	D2	D2	DX
Lugo	Lugo	D1	D1	D1	DX
Madrid	Madrid, Ciudad Real, Guadalajara	D3	D3	D3	DY
Málaga	Málaga, Cádiz, Melilla	A3	A3	A3	AW
Orense	Gerona, Orense	D2	D2	C2	CX
Oviedo	Oviedo	D1	D1	C1	CX
Las Palmas	Ls Palmas de Gran Canaria, Santa Cruz de Tenerife	α3	α3	A3	AV
Salamanca	Salamanca	D2	D2	D2	DZ
Santander	Santander	C1	C1	C1	BW
Sevilla	Sevilla	B4	B4	B4	BW
Soria	Soria, Ávila, Burgos, León	E1	E1	E1	EZ
Toledo	Toledo, Cáceres	C4	C4	C4	CX
Valencia	Valencia, Castellón, Ceuta, Murcia, Mallorca, Tarragona	B3	B3	B3	BW
Valladolid	Valladolid, Huesca, Zamora	D2	D2	D2	DY
Vitoria	Vitoria, Palencia, Pamplona	D1	D1	D1	DY
Zaragoza	Zaragoza	D3	D3	D3	CX

Tabla 32 – Combinaciones de evolución de zonas climáticas

Se plantea inicialmente, por tanto, la realización de tantos modelos de simulación como diferentes zonas climáticas de evolución de normativa existen en España.

Estas 28 combinaciones son las que se simulan mediante la utilización de una localización de referencia (capital de provincia).

Posteriormente y dado que los resultados de demanda energética son muy parecidos en las zonas clasificadas por cada uno de los grupos de zonas climáticas según CTE (A, B, C, D y E) se opta por reducir y simplificar los cálculos de ahorro energético y económicos en tan sólo 5 de las 28 simuladas inicialmente que son:

- Zona A: Almería
- Zona B: Sevilla
- Zona C: Barcelona
- Zona D: Logroño
- Zona E: Soria

## 6.4. REAL DECRETO 314/2006 - PRIMER CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN EN ESPAÑA

Desde la entrada en la Unión Europea por parte de España en el año 1986, las exigencias en eficiencia energética en construcción de nuevos edificios y rehabilitaciones han ido gradualmente en aumento.

Aunque ya en los años 1992 y 1993 se publicaron algunas directivas que afectaban al rendimiento de las instalaciones y a las emisiones de CO<sub>2</sub> no fue hasta 2002 con la aprobación de la Directiva 2002/91/CE, de eficiencia energética de los edificios, cuando se inició un cambio de paradigma en la estrategia europea en materia de eficiencia energética en la edificación y que persiste todavía en la actualidad.

A raíz de esta directiva se publicó en España el Real Decreto 314/2006 [55], que es el primer Código Técnico de la Edificación (CTE) de 2006 conforme con la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación y posteriormente el Real Decreto 1027/2007 por el que se aprobaba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

Este primer Código Técnico de la Edificación del año 2006 fue modificado en varias ocasiones hasta su versión definitiva en el año 2010 a través de los siguientes cambios:

- Real Decreto 1371/2007 de 19 de octubre, por el que se aprueba el Documento Básico "DB-HR Protección frente al ruido" del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (BOE 23-octubre-2007).
- Corrección de errores del Real Decreto 1371/2007 de 19 de octubre, por el que se aprueba el Documento Básico "DB-HR Protección frente al ruido" del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (BOE 20-diciembre-2007).
- Corrección de errores y erratas del Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (BOE 25-enero-2008).
- Orden VIV/1744/2008 de 9 de junio, por la que se regula el Registro General del Código Técnico de la Edificación. (BOE 19-junio-2008).

- Real Decreto 1675/2008 de 17 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el Documento Básico "DB-HR Protección frente al ruido" del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (BOE 18-octubre-2008).
- Orden VIV/984/2009 de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre. (BOE 23-abril-2009).
- Corrección de errores y erratas de la orden VIV/984/2009 de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación, aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre. (BOE 23-septiembre-2009).

Desde este momento la norma NBE-CTE-79 [52] quedaba derogada a todos los efectos y los requisitos de eficiencia energética en la construcción de nuevos edificios y rehabilitación de existentes quedan reflejados por las exigencias del nuevo Documento Básico de Ahorro Energético (DB-HE1) del Código Técnico de la Edificación.

A los efectos de esta norma CTE 2006-2009, los edificios quedan definidos térmicamente por los siguientes conceptos:

- Limitar la demanda energética de los edificios mediante el establecimiento de determinados valores límite de los parámetros de transmitancia térmica U y del factor solar modificado F de los componentes de la envolvente térmica.
  - o Conformidad de transmitancias máximas para elementos
  - o Conformidad de transmitancias máximas medias para los distintos parámetros característicos de la envolvente.
- Limitar las infiltraciones de aire en los huecos y lucernarios mediante el control de la permeabilidad de las carpinterías de los huecos y lucernarios de la envolvente térmica.
- Limitar la presencia de condensaciones en la superficie y en el interior de los cerramientos.
- Limitar en los edificios de viviendas la transmisión de calor entre las unidades de uso calefactadas y las zonas comunes no calefactadas.

Para la verificación y comprobación de las limitaciones que se exigen el articulado del Código Técnico de la Edificación del año 2009 permite optar por dos opciones, ambas con limitaciones en la aplicación en función del tipo de edificio que se estudie.

- Opción simplificada, basada en el control indirecto de la demanda energética de los edificios mediante la limitación de los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen su envolvente térmica. Válida para determinadas características de edificios.
- Opción general, basada en la evaluación de la demanda energética de los edificios mediante la comparación de ésta con la correspondiente a un edificio de referencia que define la propia opción.

## 6.5. EVOLUCIÓN DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

La evolución en España de las regulaciones sobre ahorro energético en edificación desde la aprobación del Real Decreto 314/2006 en 2006 (Código Técnico de la Edificación (CTE) y su Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) empiezan en 2013 donde se lleva a cabo la primera revisión significativa del DB-HE, incorporando la sección HE0, que específicamente limita el consumo de energía primaria no renovable de los edificios.

La actualización de 2019 (Real Decreto 732/2019), que constituye la revisión actual del DB-HE, mantiene la estructura anterior, pero ajusta la metodología de cálculo conforme a las normativas europeas.

Además, completa el conjunto de indicadores y condiciones existentes, abarcando el consumo total de energía primaria, el control solar y la tasa de renovación de aire, entre otros aspectos.

## 6.6. MODELIZACIÓN SEGÚN CTE 2019 (REAL DECRETO 732/2019)

El Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Real Decreto 732/2019 [10] establece la obligación de diseñar edificios con un consumo de energía reducido, priorizando el uso de energía proveniente de fuentes renovables.

Este enfoque tiene como objetivo mitigar el cambio climático y disminuir la dependencia y la intensidad en el uso de energía a nivel nacional.

Esto se logra mediante dos medidas principales:

- Limitación de las necesidades totales de energía del edificio ( $C_{ep,tot}$ ).

- Restricción del consumo de energía proveniente de fuentes no renovables ( $C_{ep,nren}$ ).

La comprobación o justificación de estas exigencias con respecto al consumo de energía del edificio, o de una parte de este, debe llevarse a cabo utilizando un procedimiento de cálculo que esté en consonancia con el propio DB-HE y el Documento Reconocido de la Certificación Energética de Edificios, titulado "Condiciones técnicas para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios".

No es necesario que estos procedimientos sean oficialmente reconocidos, pero los procedimientos utilizados para la Certificación de Eficiencia Energética de edificios deben ser documentos reconocidos, conforme al artículo 4 del Real Decreto 390/2021, de 1 de junio, que aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, de ahí la necesidad de utilizar el software Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) en la Versión 2.0.1960.1156.

La concepción y edificación de un inmueble con una baja demanda energética para alcanzar niveles confortables, acorde a su uso y a las condiciones climáticas del entorno, es esencial.

Para lograr este propósito, la fase de diseño del edificio desempeña un papel fundamental, considerando aspectos como la orientación, la compacidad, la proporción de aberturas, las protecciones solares y las sombras.

Esto conlleva:

- Establecer un nivel mínimo de aislamiento térmico global (K), que abarque tanto los puentes térmicos como cada elemento de la envolvente térmica ( $U_{lim}$ ).
- Limitar el exceso de ganancias solares en verano ( $q_{sol,jul}$ ).
- Controlar la permeabilidad al aire de los elementos ( $Q_{100}$  y  $n_{50}$ ).
- Evitar la pérdida de calor de las viviendas y los locales comerciales ( $U_{lim}$ ).
- Garantizar el mantenimiento de estas prestaciones a lo largo del tiempo.

También obliga a la implementación de sistemas térmicos e iluminación eficientes que garanticen el confort y una calidad del aire óptima involucra diversos aspectos:

- Asegurar la alta eficiencia de los equipos de climatización.
- Implementar un sistema de ventilación eficiente que garantice la calidad del aire.

- Aprovechar la iluminación natural y limitar el consumo de los sistemas de iluminación artificial.
- Diseñar las instalaciones de manera que aseguren el confort de los usuarios y mantengan su rendimiento a lo largo del tiempo.

El uso de energía renovable es esencial para evitar la emisión de gases de efecto invernadero y reducir la huella ecológica de los edificios. Esto implica:

- Producir agua caliente sanitaria mediante fuentes de energía renovable.
- Generar energía eléctrica, ya sea en la parcela o en sus proximidades, utilizando fuentes renovables.

Todo esto confluye en el CTE 2019 en 6 documentos básicos de referencia:

- HE0 – Limitación del consumo energético
- HE1 – Condiciones para el control de la demanda energética
- HE2 – Condiciones de las instalaciones térmicas
- HE3 – Condiciones de las instalaciones de iluminación
- HE4 – Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de ACS
- HE5 – Generación mínima de energía eléctrica
- HE6 – Dotaciones mínimas para la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos

Estas secciones se estructuran comenzando por los aspectos más generales de la eficiencia energética del edificio y avanzando hacia los más específicos. Se inicia con la consideración del consumo energético global del edificio, para luego abordar la definición de la envolvente térmica y las instalaciones técnicas.

No obstante, en la investigación realizada con esta simulación el documento correspondiente al CTE-DB-HE1 (Condiciones para el control de la demanda energética) es prioritario sobre el resto, ya que sus condiciones son las que generan el ahorro energético buscado en la simulación energética al sustituir el ladrillo GERO de mortero dopado con hueso de oliva en diversas proporciones por el ladrillo de árido convencional.

## 7. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DEL MODELO DE SIMULACIÓN SEGÚN CTE 2019

### 7.1. JUSTIFICACIÓN DEL CONTROL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA (CTE-DB-HE1)

Es imprescindible que los edificios cuenten con una envolvente térmica que restrinja sus demandas de energía primaria, adaptándose a la zona climática, el propósito de uso y su compacidad.

Para asegurar el cumplimiento de esta normativa, se deben evaluar cinco criterios:

- La eficiencia térmica global de la envolvente ( $K$ ) y las eficiencias térmicas por componentes ( $U_{lim}$ )
- La gestión del impacto solar en la envolvente ( $q_{Sol,Jul}$ )
- La permeabilidad al aire ( $Q_{100}$  y  $n_{50}$ )
- La necesidad de equilibrar las diferencias entre las unidades de uso ( $U_{lim}$  para particiones internas)
- El control de la condensación.

El control de estas medidas se vincula después con el resto de las exigencias del CTE (rendimiento de las instalaciones, aporte de energías renovables...) hasta conseguir que el consumo energético del edificio de energía primaria no renovable (CTE-DB-HE0) se sitúe dentro de unos valores límite:

	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	20	25	28	32	38	43
Cambios de uso a residencial privado y reformas	40	50	55	65	70	80

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,25

Tabla 33 - CTE2019 – Tabla 3.1.a HE0 Valores límite  $C_{ep,nren,lim}$  para uso residencial privado

## 7.2. TRANSMITANCIA GLOBAL DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA (K)

Retomando el concepto que la NBE79 aplicaba de coeficiente  $K_G$  para la limitación de la envolvente, el Código Técnico de la Edificación del año 2019 incorpora las propiedades de los componentes que componen la envolvente térmica, su distribución proporcional, y la consideración de los puentes térmicos, con el propósito de garantizar la eficacia de la envoltura térmica en términos de transferencia de calor.

Esto se realiza teniendo en cuenta el volumen habitable protegido y su área de intercambio térmico con el entorno exterior.

	Compacidad V/A [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	$\alpha$	Zona climática de invierno				
			A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	V/A ≤ 1	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	V/A ≥ 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 <i>envolvente térmica</i> final del edificio	V/A ≤ 1	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	V/A ≥ 4	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Los valores límite de las compacidades intermedias ( $1 < V/A < 4$ ) se obtienen por interpolación.

En el caso de ampliaciones los valores límite se aplicarán sólo en caso de que la superficie o el volumen construido se incrementen más del 10%.

Tabla 34 - CTE2019 – Tabla 3.1.1n – HE1 Valor límite  $K_{lim}$  para uso residencial privado

En el caso que ocupa la compacidad del edificio es de 3,4, por lo que se deberá tener en cuenta la segunda fila de las 4 que aparecen en la tabla anterior.

Asimismo, la eficiencia térmica total de la envolvente (K) se deriva de la combinación de cada componente individual del edificio, donde cada elemento debe cumplir con límites específicos de eficiencia térmica ( $U_{lim}$ ), según lo establecido en la tabla 3.1.1.a-HE1.

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		

\*Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de  $U_H$  en un 50%.

Tabla 35 - CTE2019 – Tabla 3.1.1.a HE1 Valores límite de transmitancia térmica ( $W/m^2K$ ) para elementos particulares

Estas limitaciones de eficiencia térmica aseguran un nivel mínimo de calidad en la envolvente y previenen desequilibrios en la calidad térmica de los espacios dentro del edificio.

No obstante, la conformidad individual de cada elemento no garantiza automáticamente la conformidad global del edificio, ya que está restringida por la eficiencia térmica total de la envolvente (K).

En construcciones estándar y en situaciones de reforma, los valores de  $U_{lim}$  pueden tener flexibilidad de cumplimiento siempre que el valor de K resultante, considerando la eficiencia final de los elementos, no supere el valor obtenido aplicando los criterios de la tabla 3.1.1.a-HE1.

Se seleccionan, por tanto, diferentes tipos de cerramientos con su respectiva transmitancia térmica U para que en cada zona climática los valores se queden cerca del límite, siempre

y cuando a continuación puedan cumplir el requisito marcado por la transmisión térmica media para determinados cerramientos completos.

Para el cálculo de todos los valores que componen los cerramientos, particiones interiores y huecos del edificio se siguen las instrucciones del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación DA DB-HE1 "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente" [78].

A efectos de los cálculos realizados las propiedades térmicas de los materiales utilizados se identifican valores publicados en el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación [74] del Ministerio de Fomento y que coincide con los observados en la Herramienta Unificada LIDER CALENER (HULC).

### 7.2.1. CERRAMIENTO DE FACHADA

Se utiliza el método de cálculo descrito en el apartado E.1.1 del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación DA DB-HE1 "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente"[78].

La transmitancia térmica de un cerramiento opaco de fachada se calcula con la expresión:

$$U = \frac{1}{R_t}$$

Siendo  $R_t$  la resistencia térmica total del componente constructivo en  $m^2 \cdot K/W$ .

Por su parte, la resistencia térmica total  $R_t$  se calcula mediante la expresión:

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Siendo:

- $R_1, R_2 \dots R_n$  las resistencias térmicas de cada capa en  $m^2 \cdot K/W$
- $R_{si}$  y  $R_{se}$  las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la siguiente tabla de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio en  $m^2 \cdot K/W$ .

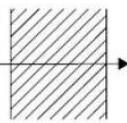
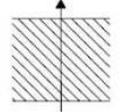
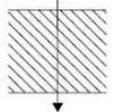
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		$R_{se}$	$R_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Tabla 36 - Valores de resistencias térmicas superficiales ( $m^2K/W$ ) de cerramiento en contacto con el aire exterior ( $R_{si}$  y  $R_{se}$ ), según CTE 2019.

Y la resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión:

$$R_t = \frac{e}{\lambda}$$

Siendo:

- $e$  el espesor de la capa en metros
- $\lambda$  la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, que se puede calcular a partir de los valores térmicos declarados según la norma UNE EN10456:2012.

En el caso de que el cerramiento disponga de cámaras de aire, estas son caracterizadas por su resistencia térmica que se obtiene de la siguiente tabla en función de la tipología:

e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Tabla 37 - Valores de resistencia térmica ( $m^2K/W$ ) para cámaras de aire según CTE2019

Con el aumento de las exigencias de aislamiento que se inician con esta normativa (Real Decreto 732/2019 [10]) se hace imprescindible la integración de espesores de aislamiento mucho más grandes.

Se configura en este caso una tipología de fachada basada en metodologías de SISTEMAS DE AISLAMIENTO TÉRMICO POR EL EXTERIOR y se juega con el espesor en cada zona climática para conseguir cumplir tanto el objetivo de transmitancia máxima para cada tipo de cerramiento como el de transmitancia máxima de fachada completa.

El ejemplo tipo del cerramiento utilizado es el siguiente:

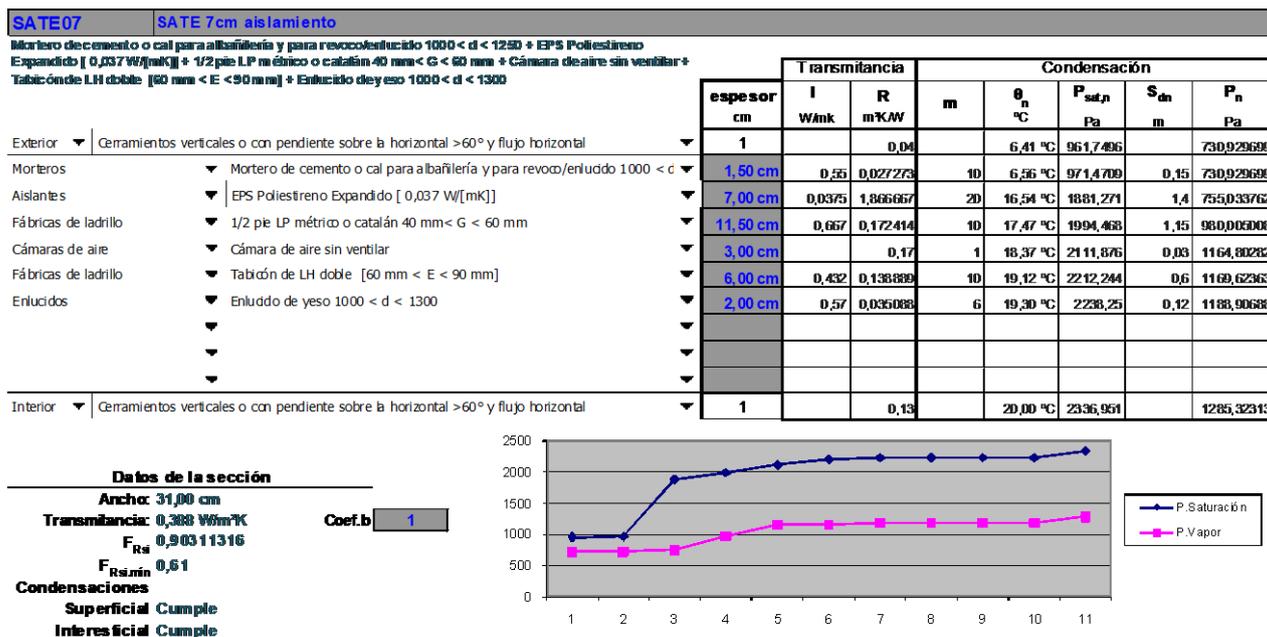


Ilustración 54 – Ejemplo de cerramiento tipo de fachada SATE de 7cm

### 7.2.2. CERRAMIENTO DE MEDIANERA

Se calculan de modo similar al expuesto para el cerramiento de fachada, con la diferencia de que la transmitancia térmica de las medianerías considera las resistencias superficiales exteriores como interiores. Al tratarse de cerramientos en contacto con otros edificios se reduce a efectos de cálculo el espesor de aislamiento en la mitad con redondeo superior, (con un mínimo de 2cm) siempre cumpliendo con las especificaciones de transmitancia máxima del cerramiento y de transmitancia máxima del paramento completo.

Por ejemplo, si en la zona D3 (Logroño) se plantea un aislamiento de EPS con conductividad térmica 0,037W/m·K de 7cm, para la fachada medianera se plantea un cerramiento de 7/2=3,5 → 4cm (siempre con un mínimo de 2cm).

Esto se realiza de esta manera, ya que en la práctica es muy difícil realizar un aislamiento similar al de fachada en una medianera al tener un edificio colindante.

### 7.2.3. HUECOS

#### 7.2.3.1. Transmitancia máxima de huecos

Para el cálculo de la transmitancia de huecos y lucernarios se utiliza lo dispuesto en el E.1.4 del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación DA DB-HE1 "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente" que utiliza la norma UNE EN ISO 10077.

Se utiliza la siguiente expresión:

$$U_H = (1 - FM)U_{H,V} + FM \cdot U_{H,M}$$

Siendo:

- $U_{H,v}$  la transmitancia térmica de la parte semitransparente en  $W/m^2K$
- $U_{H,m}$  la transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario, o puerta en  $W/m^2K$ .
- FM la fracción del hueco ocupada por el marco.

Se utilizan porcentajes de marco en huecos del 25% con una cierta evolución tecnológica de las ventanas sobre las de anteriores normas que incorporan ahora técnicas de rotura de puente térmico que aumentan el espesor total del marco con respecto a la superficie total de la ventana.

Los valores de transmitancia de vidrios y marcos se obtienen, como el resto de los elementos, del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE [74] publicado por el Ministerio de Fomento.

La transmitancia resultante obtenida para los huecos debe cumplir requisitos de transmitancia máxima.

La evolución tecnológica en este tipo de elementos constructivos es evidente en esta norma con la incorporación de marcos de PVC y metálicos con rotura de puente térmico, así como la mejora también en los vidrios desarrollándose por primera vez los vidrios de baja emisividad.

### 7.2.3.2. Factor solar modificado de huecos

Para el cálculo del factor solar modificado de huecos se utiliza lo dispuesto en el E.2 del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación DA DB-HE1 "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente" [78].

El factor solar modificado en los huecos se determina utilizando la siguiente expresión:

$$F = F_s \cdot [ (1 - FM) \cdot g_{\perp} + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha ]$$

Siendo:

- $F_s$  el factor de sombra del hueco o lucernario obtenido de las tablas E.11 a E.15 del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación DA DB-HE1 "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente" [78] en función del dispositivo de sombra o mediante simulación.
  - o Para el cumplimiento de este punto se utilizan un  $F_s$  igual a la unidad por tratarse de la situación más desfavorable, sin considerar por tanto ni retranqueos, ni voladizos, ni lamas ni toldos.
- FM la fracción del hueco ocupada por el marco en el caso de ventanas o la fracción de parte maciza en el caso de puertas.
- $g_{\perp}$  el factor solar de la parte semitransparente del hueco o lucernario a incidencia normal.
  - o Para el cumplimiento de este punto se utilizan los factores solares del Catálogo de Elementos Constructivos CTE [74] publicados por el Ministerio de Fomento.
- $U_m$  la transmitancia térmica del marco del hueco o lucernario en  $W/m^2K$ .
- $\alpha$  la absorptividad del marco obtenida de la tabla E.10 en función de su color.

<b>Color</b>	<b>Claro</b>	<b>Medio</b>	<b>Oscuro</b>
Blanco	0,20	0,30	---
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	---
Negro	---	0,96	---

Tabla 38 - Valores de absortividad en función de los colores del marco

Se utilizan huecos de colores marrones medios que proporcionan un valor de  $\alpha=0,75$ .

El factor solar modificado obtenido para los huecos (salvo lucernarios que el modelo no tiene) no tiene que cumplir requisitos de máximos, pero por el contrario si debe cumplir requisitos para paramentos completos medios.

#### 7.2.4. CUBIERTA

Las transmitancias de las cubiertas utilizadas se calculan de modo similar al expuesto para el cerramiento de fachada, con la diferencia de que las resistencias superficiales exteriores e interiores varían al tratarse de un cerramiento horizontal en vez de vertical.

#### 7.2.5. SUELO EN CONTACTO CON EL TERRENO

Para el cálculo de la transmitancia de la solera en contacto con el terreno se utiliza lo dispuesto en el E.1.2 del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación DA DB-HE1 "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente"

Al tratarse de una solera a cota 0 se desarrolla el método denominado como CASO 1 "Soleras o losas apoyadas sobre el nivel del terreno o como máximo 0,50 m por debajo de éste".

De esta forma la transmitancia térmica  $U_s$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) se obtiene de la tabla 3 en función del ancho  $D$  de la banda de aislamiento perimetral, de la resistencia térmica del aislante  $R_a$  y la longitud característica  $B'$  de la solera o losa. En el caso de que el valor no se encuentra en la tabla se obtiene por interpolación lineal.

El valor de  $R_a$  se obtiene mediante la ecuación:

$$R_a = \frac{e}{\lambda}$$

Siendo:

- e el espesor de la capa en metros
- $\lambda$  la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, que se puede calcular a partir de los valores térmicos declarados según la norma UNE EN10456:2012.

Este valor de  $R_a$  va cambiando en los modelos en función del aislamiento requerido para cumplir con las exigencias normativas.

En el caso de que se dispusiera de soleras o losas sin aislamiento térmico, la transmitancia térmica  $U_s$  se toma de la columna  $R_a=0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  en función de su longitud característica  $B'$ , aunque esta situación no se da puesto que todas las soleras utilizadas en el cumplimiento de esta norma disponen de algún cm de aislamiento para poder cumplir con los valores máximos exigidos.

El valor de D es el del ancho D de la banda de aislamiento perimetral que se va a considerar continuo por toda la losa y que por tanto va a tener un valor de 1,5.

El otro parámetro  $B'$  se calcula con la siguiente fórmula:

$$B' = \frac{A}{0,5P} = \frac{388}{0,5 \cdot 98} = 7,91 \approx 8$$

Siendo:

- P la longitud del perímetro expuesto de la solera en metros (98 metros)
- A el área de la solera en  $\text{m}^2$  (388  $\text{m}^2$ )

Con estas ecuaciones se obtienen dos valores de transmitancia:

- La transmitancia térmica del primer metro de losa o solera se obtiene de la fila  $B' = 1$ .

B'	R <sub>a</sub>	D = 0.5 m					D = 1.0 m					D ≥ 1.5 m				
		R <sub>a</sub> (m <sup>2</sup> ·K/ W)					R <sub>a</sub> (m <sup>2</sup> ·K/ W)					R <sub>a</sub> (m <sup>2</sup> ·K/ W)				
	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
2	1,56	1,17	1,04	0,97	0,92	0,89	1,08	0,89	0,79	0,72	0,67	1,04	0,83	0,70	0,61	0,55
3	1,20	0,94	0,85	0,80	0,78	0,76	0,88	0,76	0,69	0,64	0,61	0,85	0,71	0,63	0,57	0,53
4	0,99	0,79	0,73	0,69	0,67	0,65	0,75	0,65	0,60	0,57	0,54	0,73	0,62	0,56	0,51	0,48
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

 Tabla 39 - Valores de U<sub>s</sub> (W/m<sup>2</sup>K) según CTE2019 – Tabla 3 HE1

Con estas ecuaciones se obtienen dos valores de transmitancia:

- La transmitancia térmica del primer metro de losa o solera (U<sub>s1</sub>) se obtiene de la fila B'=1, R<sub>a</sub> y D=1,5
- La transmitancia térmica del resto de la losa o solera (U<sub>s</sub>) que obtiene con los valores calculados de B'=8, R<sub>a</sub> y D=1,5

Ambos valores, tanto el de la transmitancia térmica del primer metro de losa o solera (U<sub>s1</sub>) como el de la transmitancia térmica del resto de la losa o solera (U<sub>s</sub>) deben cumplir con requisitos de transmitancia máxima.

### 7.2.6. FORJADOS CON ZONAS NO HABITABLES

Los forjados de planta baja y planta bajo cubierta tienen en especial que entran en contacto con zonas no calefactadas como son la zona comercial y la zona de trasteros respectivamente y a su vez estos últimos tienen contacto con el exterior.

Aunque estos forjados no forman parte de la envolvente térmica tienen valores límite asignados para su transmitancia térmica según el Código Técnico de la Edificación 2019.

El procedimiento de cálculo se realiza según lo dispuesto en el E.1.3 del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación DA DB-HE1 “Cálculo de parámetros característicos de la envolvente” [78].

A diferencia de un cerramiento opaco en contacto con el exterior a transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) de estos viene dada por la siguiente expresión:

$$U = U_p \cdot b$$

Siendo:

- $U_p$  la transmitancia térmica de la partición interior en contacto con el espacio no habitable, calculada según el apartado 2.1.1, tomando como resistencias superficiales los valores de la tabla 6 del CTE-DB-HE1 que se expone en el apartado 7.2.1 “Cerramientos de fachada”.
- $b$  es el coeficiente de reducción de temperatura (relacionado al espacio no habitable) obtenido según el procedimiento.

#### 7.2.6.1. Forjado con zona no habitable planta bajo cubierta

Para este tipo de partición horizontal en contacto con espacios no acondicionados bajo cubierta inclinada se obtiene del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación DA DB-HE1 “Cálculo de parámetros característicos de la envolvente” [78] en función de:

- Situación del aislamiento térmico: El espacio exterior no habitable se considera aislado puesto que son la cubierta y el cerramiento de fachada que en todos los casos se encuentran con aislamiento térmico.
- Grado de ventilación del espacio: Se utiliza el CASO 1 para espacios ligeramente ventilados, que comprende aquellos espacios con un nivel de estanqueidad 1, 2 o 3.
- Relación de áreas entre la partición interior y el cerramiento ( $A_{h-nh}/A_{nh-e}$ ), donde el subíndice  $nh-e$  se refiere al cerramiento entre el espacio no habitable y el exterior ( $529,31m^2$ ) y el subíndice  $h-nh$  se refiere a la partición interior entre el espacio habitable y el espacio no habitable ( $388m^2$ ). El valor que adopta por tanto es de 0,73.

$A_{h-nh}/A_{nh-e}$	No aislado <sub>nh-e</sub> - Aislado <sub>h-nh</sub>		No aislado <sub>nh-e</sub> -No aislado <sub>h-nh</sub>		Aislado <sub>nh-e</sub> -No aislado <sub>h-nh</sub>	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
<0,25	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96
0,25 ≤ 0,50	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90
0,50 ≤ 0,75	0,96	0,98	0,77	0,87	0,67	0,84
0,75 ≤ 1,00	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79
1,00 ≤ 1,25	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74
1,25 ≤ 2,00	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67
2,00 ≤ 2,50	0,86	0,93	0,48	0,66	0,36	0,59
2,50 ≤ 3,00	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54
>3,00	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50

Tabla 40 - Valores de coeficiente reductor  $b$  para forjado bajo cubierta no acondicionado según CTE2019 – Tabla 7 – HE1

El coeficiente de reducción para el forjado de planta bajo cubierta es de aproximadamente 0,67 y se utiliza para todos los modelos de cumplimiento de esta normativa.

#### 7.2.6.2. Forjado con zona no habitable planta baja

Para este tipo de partición horizontal en contacto con espacio no habitable en planta baja destinada a uso comercial se utiliza un método alternativo al explicado para el de planta bajo cubierta según se detalla en el apartado E.1.3 del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación DA DB-HE1 "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente" [78].

El coeficiente de reducción de temperatura  $b$  puede calcularse mediante la expresión:

$$b = \frac{H_{nh-e}}{H_{h-nh} + H_{nh-e}}$$

Siendo:

- $H_{nh-e}$  es el coeficiente de pérdida del espacio no habitable hacia el exterior en W/m.
- $H_{h-nh}$  es el coeficiente de pérdida del espacio habitable hacia el espacio no habitable.

Los coeficientes  $H_{nh-e}$  y  $H_{h-nh}$  incluyen las pérdidas por transmisión y por renovación de aire. Se calculan mediante las fórmulas siguientes:

$$H_{nh-e} = \sum U_{nh-e} \cdot A_{nh-e} + 0,34Q_{nh-e}$$

$$H_{h-nh} = \sum U_{h-nh} \cdot A_{h-nh} + 0,34Q_{h-nh}$$

Siendo:

- $U_{nh-e}$  la transmitancia térmica del cerramiento del espacio no habitable en contacto con el ambiente exterior.
- $U_{h-nh}$  la transmitancia térmica del cerramiento del espacio habitable en contacto con el no habitable.
- $A_{nh-e}$  el área del cerramiento del espacio no habitable en contacto con el ambiente exterior
- $A_{h-nh}$  el área del cerramiento del espacio habitable en contacto con el no habitable.
- $Q_{e-nh}$  el caudal de aire entre el exterior y el espacio no habitable en  $m^3/h$ .
- $Q_{nh-h}$  el caudal de aire entre el espacio no habitable y el espacio habitable en  $m^3/h$ .

Estos caudales se obtienen multiplicando los valores de renovaciones hora ( $h^{-1}$ ) contenidos del apartado E.1.3 del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación DA DB-HE1 "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente" [78] por el volumen de aire de la zona no habitable.

<b>Nivel de estanqueidad</b>	<b><math>h^{-1}</math></b>
Ni puertas, ni ventanas, ni aberturas de ventilación	0
Todos los componentes sellados, sin aberturas de ventilación	0,5
Todos los componentes bien sellados, pequeñas aberturas de ventilación	1
Poco estanco, a causa de juntas abiertas o presencia de aberturas de ventilación permanentes	5
Poco estanco, con numerosas juntas abiertas o aberturas de ventilación permanentes grandes o numerosas	10

Tabla 41 - Valores de renovación de aire entre espacios no habitables y el exterior ( $h^{-1}$ ). CTE2019 –

Tabla 8 – HE1

Como se puede observar la expresión de cálculo depende de las transmitancias de los cerramientos de la zona no habitable que coincide con el cerramiento de fachada y la transmitancia del propio forjado que separa la zona habitable con la no habitable, de modo que el coeficiente  $b$  varía en función de la composición de estos dos elementos.

El resto de los parámetros se mantienen constantes, de modo que:

- $A_{nh-e}$  tiene un valor de  $784m^2$ .
- $A_{h-nh}$  tiene un valor de  $388m^2$ .

- Para el cálculo de  $Q_{e-nh}$  se utiliza una tasa de renovación de aire de  $1 \text{ h}^{-1}$  con un volumen de  $1552\text{m}^3$  para un total de  $1552\text{m}^3/\text{h}$ .
- Para el cálculo de  $Q_{nh-h}$  se utiliza una tasa de renovación de aire de  $1 \text{ h}^{-1}$  con un volumen de  $1164\text{m}^3$  para un total de  $1164\text{m}^3/\text{h}$ .

Con estos parámetros y la obtención de  $U_{nh-}$  y  $U_{h-nh}$  que depende de los elementos que componen la envolvente para cada zona climática se calcula finalmente el coeficiente  $b$ , que por tanto será variable.

Este forjado no forma parte de la envolvente térmica elegida para el modelo, pero si tiene requisitos normativos de transmitancia máxima que debe cumplir.

### 7.2.7. PARTICIONES VERTICALES INTERIORES CON ESPACIOS NO HABITABLES

En edificios de viviendas, las particiones interiores que limitan las unidades de uso con sistema de calefacción, con las zonas comunes del edificio no calefactadas, tendrán cada una de ellas una transmitancia no superior a  $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

En el modelo simulado esta partición se encuentra en las plantas de viviendas a través del tabique que une las mismas con las zonas comunes.

Este tipo de cerramiento no forma parte de la envolvente del edificio, pero debe cumplir este requisito de máximos.

Para este tipo de partición vertical en contacto con espacio no acondicionados se su transmitancia siguiendo lo descrito en el apartado E.1.3 del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación DA DB-HE1 "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente" [78].

$$U = U_p \cdot b$$

Siendo:

- $U_p$  la transmitancia térmica de la partición interior en contacto con el espacio no habitable, calculada según el apartado E.1.1, tomando como resistencias superficiales los valores de la tabla 6 del CTE-DB-HE1 que se expone en el apartado 7.2.1 "Cerramientos de fachada" y que en este caso al tratarse de particiones verticales obtienen un valor de 0,13 tanto para la exterior como para la interior.

- b es el coeficiente de reducción de temperatura (relacionado al espacio no habitable) obtenido según el procedimiento que obtiene de la tabla 7 del Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación DA DB-HE1 “Cálculo de parámetros característicos de la envolvente” [78] en función de:
  - o Situación del aislamiento térmico: El espacio exterior no habitable se considera aislado puesto que son la cubierta y el cerramiento de fachada que en todos los casos se encuentran con aislamiento térmico.
  - o Grado de ventilación del espacio: Se utiliza el CASO 1 para espacios ligeramente ventilados, que comprende aquellos espacios con un nivel de estanqueidad 1, 2 o 3.
  - o Relación de áreas entre la partición interior y el cerramiento ( $A_{h-nh}/A_{nh-e}$ ), donde el subíndice nh-e se refiere al cerramiento entre el espacio no habitable y el exterior y el subíndice h-nh se refiere a la partición interior entre el espacio habitable y el espacio no habitable. Este valor se opta por utilizar 1.
  - o Se utiliza la tabla 7 del CTE-DB-HE1 que se expone en el apartado 7.2.61. “Forjado con zona no habitable planta bajo cubierta”.

El coeficiente de reducción que se utiliza para este tipo de partición vertical con espacio es de 0,59 y es recurrente para todos los modelos de cumplimiento de esta normativa.

El resto de las particiones interiores que delimitan zonas habitables no tienen requisitos de transmitancia máxima.

### 7.2.8. PUENTES TÉRMICOS

Se introducen los siguientes valores para los puentes térmicos y los coeficientes en el programa de cálculo Herramienta Unificada LIDER-CALENER.

Tipo de puente térmico	Longitud(m)	Y(Wm/K)	L*Y(W/K)
Frente de forjado	310	0,12	37,2
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,384
Esquinas interiores	74,4	-0,16	-11,904
Esquinas exteriores	0	0,11	0
Alfeizar	112,05	0,08	8,964
Dinteles/Capialzados	112,05	0,1	11,205
Jambas	310,3	0,04	12,412
Suelos en contacto con el terreno	36,1	0,57	20,577
Pilares	0	1,2	0
Forjado interior en contacto con aire	0	0,86	0
<b>Σtotal puentes térmicos</b>	1199,05	0,26	312,84

Tabla 42 - Valores de puentes térmicos para la simulación

### 7.3. CONTROL SOLAR

Este parámetro mide la radiación solar total que penetra en el edificio durante el mes de julio con las protecciones solares móviles activas de las que disponga el edificio, es decir, la ganancia solar total por metro cuadrado durante el mes de julio con las protecciones solares móviles activas.

El objetivo de este parámetro es asegurar la capacidad de control efectivo de las ganancias solares en verano, limitando el impacto de la radiación solar en la superficie acondicionada.

Para ello, se mide la capacidad del edificio de protegerse de la radiación solar excesiva que evite el sobrecalentamiento en época de refrigeración.

El cálculo de este parámetro se realiza con los dispositivos de sombra móviles activados además de contar con el efecto de los elementos de sombra fijos.

La limitación reglamentaria de este parámetro se realiza en función del uso:

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

Tabla 43 - CTE2019 – Tabla 3.1.2 – HE1. Valor límite del parámetro de control solar  $q_{sol,jul,lim}$  (kWh/m<sup>2</sup>.mes)

### 7.4. COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO DE CONDENSACIONES

La resistencia térmica y disposición constructiva de los elementos de cerramiento de los edificios serán tales que, en las condiciones ambientales consideradas en la norma, los cerramientos no presenten humedades de condensación en su superficie interior, ni dentro de la masa del cerramiento que degraden sus condiciones, así como tampoco las esporádicas que causen daños a otros elementos.

## 7.5. PERMEABILIDAD DE LAS CARPINTERÍAS DE HUECOS

El control de la permeabilidad de la envolvente del edificio constituye otro de los parámetros innovadores que se especifican en el Código Técnico de la Edificación (HE1) con el fin de regular la calidad mínima de la envolvente del edificio.

La permeabilidad se refiere al volumen de aire que se infiltra a través de los cerramientos cuando existe una diferencia de presión específica entre el exterior y el interior.

Se impone la obligatoriedad de que tanto las soluciones constructivas como las condiciones de ejecución de los elementos de la envolvente térmica garanticen una estanqueidad al aire adecuada.

Se presta especial atención a los encuentros entre aberturas y superficies sólidas, los puntos de acceso a través de la envolvente térmica (como pasos de instalaciones y puertas), así como las puertas que conducen a espacios no climatizados.

La permeabilidad al aire de una carpintería de hueco se define por su clase de estanqueidad o permeabilidad al aire.

De manera específica se establecen dos parámetros de cumplimiento:

### 7.5.1. PERMEABILIDAD AL AIRE DE LOS HUECOS ( $Q_{100}$ )

Afecta a todos los huecos en edificación nueva y a los elementos sobre los que se intervenga en edificación existente:

	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Permeabilidad al aire de huecos ( $Q_{100,lim}$ ) <sup>*</sup>	$\leq 27$	$\leq 27$	$\leq 27$	$\leq 9$	$\leq 9$	$\leq 9$

<sup>\*</sup> La permeabilidad indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa,  $Q_{100}$ .

Los valores de permeabilidad establecidos se corresponden con los que definen la clase 2 ( $\leq 27 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ ) y clase 3 ( $\leq 9 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ ) de la UNE-EN 12207:2017.

La permeabilidad del hueco se obtendrá teniendo en cuenta, en su caso, el cajón de persiana.

Tabla 44 - CTE2019 – Tabla 3.1.3.a – HE1 - Valor límite de permeabilidad al aire de huecos de envolvente térmica  $Q_{100,lim}$  ( $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ )

La normativa actual, vinculada a los Códigos Técnicos de la Edificación, establece la clasificación en cuanto a la permeabilidad al aire de la ventana en la actualidad es la norma UNE EN 12207:2000.

Esta norma caracteriza a las ventanas por unas curvas representadas en un gráfico de coordenadas logarítmicas, que expresan la fuga de aire en de metros cúbicos por hora y metro cuadrado de superficie practicable ( $m^3/h \cdot m^2$ ) en función de la presión diferencial en pascales (Pa). Se establecen en ella 4 categorías:

- Clase 1 hasta  $50 m^3/h \cdot m^2$  a 100 Pa
- Clase 2 hasta  $27 m^3/h \cdot m^2$  a 100 Pa
- Clase 3 hasta  $9 m^3/h \cdot m^2$  a 100 Pa
- Clase 4 hasta  $3 m^3/h \cdot m^2$  a 100 Pa.

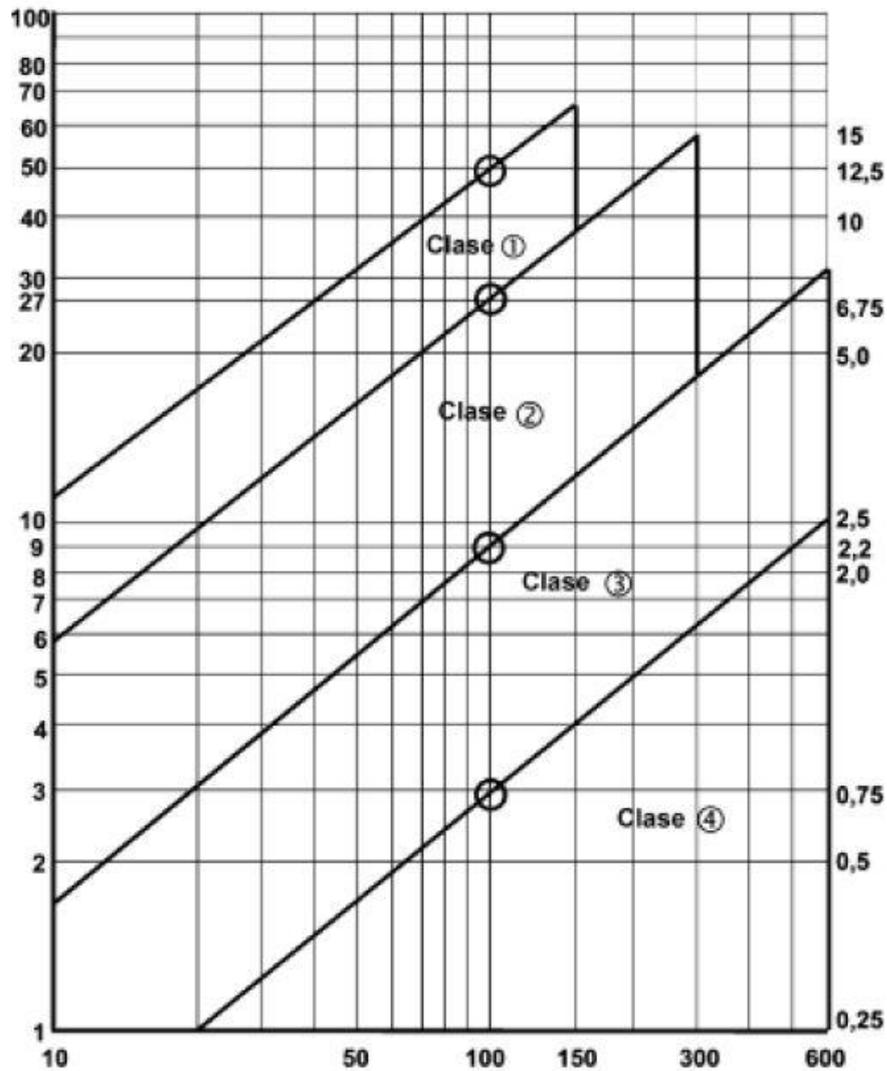


Ilustración 55 - Clasificación según UNE EN 12207:2000

Según esta norma los requisitos actuales de permeabilidad de los huecos para las distintas zonas climáticas son:

- Zona A: Clase 2 hasta 27 m³/h·m² a 100 Pa
- Zona B: Clase 2 hasta 27 m³/h·m² a 100 Pa
- Zona C: Clase 3 hasta 9 m³/h·m² a 100 Pa
- Zona D: Clase 3 hasta 9 m³/h·m² a 100 Pa
- Zona E: Clase 3 hasta 9 m³/h·m² a 100 Pa

Por el contrario, con anterioridad a esta norma existía una previa UNE-EN85208 del año 1981 que establecía la clasificación de las ventanas.

Entre ambas se aprecia un aumento del requerimiento en cuanto a la clasificación, que pasa de 50, 20 y 7 m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup> a 100 Pa en la UNE EN 85208:1981, a 50, 27, 9 y 3 m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup> a 100 Pa en la UNE EN 12207:2000.

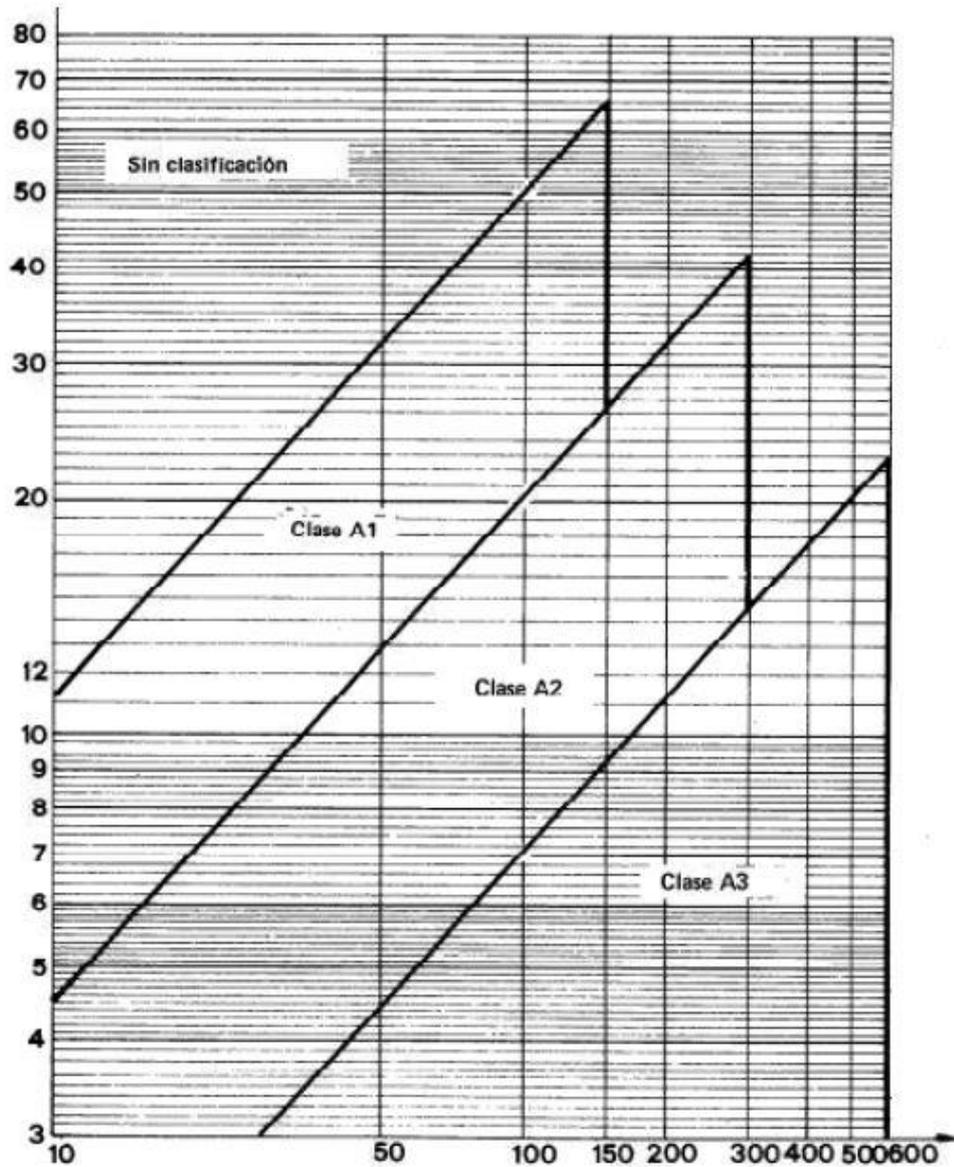


Ilustración 56 - Clasificación según. UNE EN 85208:1981

La herramienta unificada LIDER-CALENER solicita para la simulación de los huecos el parámetro correspondiente a la permeabilidad a 100Pa, por lo que los valores de referencia que se deberían introducir serían para el cumplimiento de esta norma los siguientes:

- 27 m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup> a 100 Pa para las zonas climática A y B
- 9 m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup> a 100 Pa para las zonas climática C, D y E

### 7.5.2. PERMEABILIDAD AL AIRE COMPLETA (N<sub>50</sub>)

La permeabilidad al aire de toda la envolvente térmica (n<sub>50</sub>) es exigible solo a la edificación residencial privada nueva con una superficie útil total superior a 120m<sup>2</sup>.

Compacidad V/A [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	n <sub>50</sub>
V/A ≤ 2	6
V/A ≥ 4	3

Los valores límite de las compacidades intermedias (2 < V/A < 4) se obtienen por interpolación.

El cálculo de estos valores de compacidad se realiza de una manera diferente al del cálculo para el valor límite de K, tal y como se comenta en el apartado 4.5 de esta guía, puesto que el volumen considerado es del aire interior del edificio y solo se tienen en cuenta las superficies en contacto con el aire exterior.

Tabla 45 - CTE2019 – Tabla 3.1.3b – HE1. Valor límite de permeabilidad n<sub>50</sub>(h<sup>-1</sup>)

Para los cálculos en la simulación se utiliza un valor constante de 33 litros/s y vivienda lo que resulta en una ventilación global de 528 litros/s (33 l/s \* 16 viviendas).

En este caso la relación V/A=3,4 por lo que la n<sub>50</sub> será 3,9.

### 7.5.3. LIMITACIÓN DE DESCOMPENSACIONES

El HE1 busca también limitar el efecto de situaciones de pérdidas de calor entre diferentes unidades de uso con la siguiente tabla de transmitancias mínimas para particiones interiores:

**Tabla 3.2 - HE1 Transmitancia térmica límite de particiones interiores,  $U_{im}$  [ $W/m^2K$ ]**

	Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
		$\alpha$	A	B	C	D	E
Entre unidades del mismo uso	Particiones horizontales	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
	Particiones verticales	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00
Entre unidades de distinto uso Entre unidades de uso y zonas comunes	Particiones horizontales y verticales	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

 Tabla 46 - CTE2019 – Tabla 3.2 – HE1. Transmitancia térmica límite de particiones interiores  $U_{im}$  ( $W/m^2K$ )

## 8. RESUMEN DE ENVOLVENTES

El objetivo de esta comprobación es la de conseguir que la demanda energética sea 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 del CTE.

Los parámetros característicos que definen la envolvente térmica se agrupan en los siguientes tipos:

- a) transmitancia térmica de muros de fachada  $U_M$
- b) transmitancia térmica de cubiertas  $U_C$
- c) transmitancia térmica de suelos  $U_S$
- d) transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno  $U_T$
- e) transmitancia térmica de huecos  $U_H$
- f) factor solar modificado de huecos  $F_H$
- g) factor solar modificado de lucernarios  $F_L$
- h) transmitancia térmica de medianerías  $U_{MD}$

Para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios, cada uno de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica tendrán una transmitancia no superior a los valores indicados por el CTE en función de la zona climática en la que se ubique el edificio.

Los resultados obtenidos de las modelizaciones de las 28 localizaciones distintas con el objetivo de cumplir las especificaciones del DB-HE1 han sido las siguientes:

Provincia	Zonas climáticas equivalentes	Altura	ZONAS CLIMÁTICAS				Demanda KWh/m <sup>2</sup> -año			
			CTE2019	CTE2013	CTE2006	NBE79	Calefacción Objeto 2020 HULC2020	Refrigeración Objeto 2020 HULC2020	Klim	Klim máxima
Albacete	Albacete	686	D3	D3	D3	DZ	12,44	9,44	0,57	0,63
Alicante	Alicante	8	B4	B4	B4	AW	2,64	14,71	0,73	0,73
Almería	Almería	16	A4	A4	A4	AW	0,78	14,92	0,76	0,76
Badajoz	Badajoz	186	C4	C4	C4	BX	8,13	14,49	0,65	0,68
Barcelona	Barcelona	13	C2	C2	C2	BW	8,61	3,49	0,65	0,68
Bilbao	Bilbao, La Coruña, Pontevedra	6	C1	C1	C1	CW	8,77	0,48	0,65	0,68
Córdoba	Córdoba	106	B4	B4	B4	BX	2,56	14,74	0,73	0,73
Cuenca	Cuenca, Segovia, Teruel	946	D2	D2	D2	EZ	11,92	4,17	0,57	0,63
San Sebastián	San Sebastián	12	D1	D1	C1	CW	14,36	0,58	0,57	0,63
Granada	Granada	738	C3	C3	C3	CY	7,35	9,49	0,65	0,68
Huelva	Huelva	30	A4	A4	B4	BW	0,78	14,93	0,76	0,76
Jaén	Jaén	568	C4	C4	C4	CW	7,48	14,64	0,65	0,68
Lérida	Lérida	182	D3	D3	D3	CY	13,73	9,17	0,57	0,63
Logroño	Logroño	385	D2	D2	D2	DX	13,31	3,92	0,57	0,63
Lugo	Lugo	454	D1	D1	D1	DX	13,18	0,67	0,57	0,63
Madrid	Madrid, Ciudad Real, Guadalajara	655	D3	D3	D3	DY	12,51	9,42	0,57	0,63
Málaga	Málaga, Cádiz, Melilla	11	A3	A3	A3	AW	0,79	9,46	0,76	0,76
Orense	Gerona, Orense	139	D2	D2	C2	CX	13,99	3,82	0,57	0,63
Oviedo	Oviedo	232	D1	D1	C1	CX	13,76	0,63	0,57	0,63
Las Palmas de Gran Canaria	Las Palmas de Gran Canaria, Santa Cruz de Tenerife	13	A3	A3	A3	AV	0	10,12	0,8	0,82
Salamanca	Salamanca	800	D2	D2	D2	DZ	12,27	4,1	0,57	0,63
Santander	Santander	11	C1	C1	C1	BW	8,76	0,48	0,65	0,68
Sevilla	Sevilla	11	B4	B4	B4	BW	2,63	14,71	0,73	0,73
Soria	Soria, Ávila, Burgos, León	1063	E1	E1	E1	EZ	19,07	0,7	0,56	0,58
Toledo	Toledo, Cáceres	529	C4	C4	C4	CX	7,55	14,63	0,65	0,68
Valencia	Valencia, Castellón, Ceuta, Murcia, Palma de Mallorca	15	B3	B3	B3	BW	2,59	9,44	0,73	0,73
Valladolid	Valladolid, Huesca, Zamora	698	D2	D2	D2	DY	12,52	4,06	0,57	0,63
Vitoria	Vitoria, Palencia, Pamplona	540	D1	D1	D1	DY	12,96	0,69	0,57	0,63
Zaragoza	Zaragoza	199	D3	D3	D3	CX	13,68	9,18	0,57	0,63

Tabla 47 - Modelizaciones CTE para 28 localizaciones

Para su cumplimiento, se han utilizado las siguientes combinaciones de los cerramientos:

- 6 tipos de fachadas
- 4 tipos de medianeras
- 3 tipos de huecos
- 5 tipos de solera en contacto con el terreno
- 5 tipos de cubiertas
- 2 tipo de forjado en contacto con espacio no habitable

En el anexo correspondiente se pueden ver los cálculos desarrollados para cada Ficha justificativa del cálculo del K del edificio según las 28 localizaciones a estudio.

## 8.1. RESULTADOS MEDIOS POR ZONAS CLIMÁTICAS

### Zona A

Provincia	Zonas climáticas equivalentes	Altura	ZONAS CLIMÁTICAS				Demanda KWh/m <sup>2</sup> -año			
			CTE2019	CTE2013	CTE2006	NBE79	Calefacción Objeto 2020 HULC2020	Refrigeración Objeto 2020 HULC2020	Klim	Klim máxima
Almería	Almería	16	A4	A4	A4	AW	0,78	14,92	0,76	0,76
Huelva	Huelva	30	A4	A4	B4	BW	0,78	14,93	0,76	0,76
Málaga	Málaga, Cádiz, Melilla	11	A3	A3	A3	AW	0,79	9,46	0,76	0,76

Tabla 48 - Resultados medios 3 localidades de zona climática A

### Zona B

Provincia	Zonas climáticas equivalentes	Altura	ZONAS CLIMÁTICAS				Demanda KWh/m <sup>2</sup> -año			
			CTE2019	CTE2013	CTE2006	NBE79	Calefacción Objeto 2020 HULC2020	Refrigeración Objeto 2020 HULC2020	Klim	Klim máxima
Alicante	Alicante	8	B4	B4	B4	AW	2,64	14,71	0,73	0,73
Córdoba	Córdoba	106	B4	B4	B4	BX	2,56	14,74	0,73	0,73
Sevilla	Sevilla	11	B4	B4	B4	BW	2,63	14,71	0,73	0,73
Valencia	Valencia, Castellón, Ceuta, Murcia, Palma	15	B3	B3	B3	BW	2,59	9,44	0,73	0,73

Tabla 49 - Resultados medios 3 localidades de zona climática B

### Zona C

Provincia	Zonas climáticas equivalentes	Altura	ZONAS CLIMÁTICAS				Demanda KWh/m <sup>2</sup> -año			
			CTE2019	CTE2013	CTE2006	NBE79	Calefacción Objeto 2020 HULC2020	Refrigeración Objeto 2020 HULC2020	Klim	Klim máxima
Badajoz	Badajoz	186	C4	C4	C4	BX	8,13	14,49	0,65	0,68
Barcelona	Barcelona	13	C2	C2	C2	BW	8,61	3,49	0,65	0,68
Bilbao	Bilbao, La Coruña, Pontevedra	6	C1	C1	C1	CW	8,77	0,48	0,65	0,68
Granada	Granada	738	C3	C3	C3	CY	7,35	9,49	0,65	0,68
Jaén	Jaén	568	C4	C4	C4	CW	7,48	14,64	0,65	0,68
Santander	Santander	11	C1	C1	C1	BW	8,76	0,48	0,65	0,68
Toledo	Toledo, Cáceres	529	C4	C4	C4	CX	7,55	14,63	0,65	0,68

Tabla 50 - Resultados medios 7 localidades de zona climática C

## Zona D

Provincia	Zonas climáticas equivalentes	Altura	ZONAS CLIMÁTICAS				Demanda KWh/m <sup>2</sup> ·año			
			CTE2019	CTE2013	CTE2006	NBE79	Calefacción Objeto 2020 HULC2020	Refrigeración Objeto 2020 HULC2020	Klim	Klim máxima
Albacete	Albacete	686	D3	D3	D3	DZ	12,44	9,44	0,57	0,63
Cuenca	Cuenca, Segovia, Teruel	946	D2	D2	D2	EZ	11,92	4,17	0,57	0,63
San Sebastián	San Sebastián	12	D1	D1	C1	CW	14,36	0,58	0,57	0,63
Lérida	Lérida	182	D3	D3	D3	CY	13,73	9,17	0,57	0,63
Logroño	Logroño	385	D2	D2	D2	DX	13,31	3,92	0,57	0,63
Lugo	Lugo	454	D1	D1	D1	DX	13,18	0,67	0,57	0,63
Madrid	Madrid, Ciudad Real, Guadalajara	655	D3	D3	D3	DY	12,51	9,42	0,57	0,63
Orense	Gerona, Orense	139	D2	D2	C2	CX	13,99	3,82	0,57	0,63
Oviedo	Oviedo	232	D1	D1	C1	CX	13,76	0,63	0,57	0,63
Salamanca	Salamanca	800	D2	D2	D2	DZ	12,27	4,1	0,57	0,63
Valladolid	Valladolid, Huesca, Zamora	698	D2	D2	D2	DY	12,52	4,06	0,57	0,63
Vitoria	Vitoria, Palencia, Pamplona	540	D1	D1	D1	DY	12,96	0,69	0,57	0,63
Zaragoza	Zaragoza	199	D3	D3	D3	CX	13,68	9,18	0,57	0,63

Tabla 51 - Resultados medios de 13 localidades de zona climática D

## Zona E

Provincia	Zonas climáticas equivalentes	Altura	ZONAS CLIMÁTICAS				Demanda KWh/m <sup>2</sup> ·año			
			CTE2019	CTE2013	CTE2006	NBE79	Calefacción Objeto 2020 HULC2020	Refrigeración Objeto 2020 HULC2020	Klim	Klim máxima
Soria	Soria, Ávila, Burgos, León	1063	E1	E1	E1	EZ	19,07	0,7	0,56	0,58

Tabla 52 - Resultados medios de 1 localidad de zona climática E

## Zona a

Provincia	Zonas climáticas equivalentes	Altura	ZONAS CLIMÁTICAS				Demanda KWh/m <sup>2</sup> ·año			
			CTE2019	CTE2013	CTE2006	NBE79	Calefacción Objeto 2020 HULC2020	Refrigeración Objeto 2020 HULC2020	Klim	Klim máxima
Las Palmas de Gran Canaria	Las Palmas de Gran Canaria, Santa Cruz de Tenerife	13	A3	A3	A3	AV	0	10,12	0,8	0,82

Tabla 53 - Resultados medios de 1 localidad de zona climática a

## 9. NOMENCLATURA DE SIMULACIÓN Y VERSIÓN DE HULC UTILIZADA

La nomenclatura de simulación para los modelos de esta tipología ha sido denominada de la siguiente forma. Ejemplo: LogroñoCTE19v01

- 1. Nombre de la capital de provincia simulada
- 2. CTE19 (código técnico edificación 2019)
- 3. Número de versión de simulación (distintas instalaciones...)

Los modelos de cerramientos se modelizan en la Versión 2.0.1960.1156 (fecha de actualización 29 de enero de 2020).

## 10. JUSTIFICACIÓN DE REDUCCIÓN DE MODELOS PARA SIMULACIÓN ENERGÉTICA

Como se puede apreciar, apenas hay diferencias significativas en las demandas de calefacción y refrigeración entre modelos ubicados en localizaciones de zonas climáticas equivalentes. (A, B, C, D, E y  $\alpha$ ).

Por lo tanto, dado que se anticipa una similitud considerable en los resultados de la simulación energética al reemplazar la capa de mortero exterior de 3 cm y el ladrillo de 11,5 cm de la hoja interior con mortero dopado con hueso de oliva, se ha decidido simplificar las 28 ubicaciones modeladas a las 5 principales (A, B, C, D y E).

Además, se excluye la zona  $\alpha$ , ya que en las Islas Canarias la producción de oliva es muy limitada e incluso en la anterior versión del Código Técnico de la Edificación se correspondía con una zona climática A.

Las localizaciones a estudio a partir de este momento son:

- Zona A: Almería
- Zona B: Sevilla
- Zona C: Barcelona
- Zona D: Logroño
- Zona E: Soria

## 11. DEGRADACIÓN DE LA FACHADA

Al realizar una simulación energética que permite conocer el ahorro energético a largo (vida útil de un edificio) es necesario también compensar el efecto de la degradación de las fachadas de construcción (en este caso de revestimiento de mortero exterior con SATE) con el paso de tiempo.

Son varios los autores que intentando escudriñar las principales patologías a las que se ve sometida una fachada durante toda su vida útil. [79][80][81]

De entre todas ellas se pueden destacar:

- Filtraciones de agua
- Humedades por capilaridad o por condensación
- Roturas, desconchones y desprendimientos de aislamiento
- Fisuraciones
- Manchas y suciedad
- Eflorescencias
- Falta de planimetría

En general, las más repetidas en edificación son las filtraciones de agua, las humedades por condensación y capilaridad, las roturas y los desconchones.

Las causas de estas patologías también son múltiples, aunque las más importantes [81] son:

- Ausencia o deficiencia de chapado en elementos estructurales
- Ausencia o deficiencia de goterón, canalón o bajantes
- Deficiente calidad del enfoscado de mortero
- Carencia o deficiencia de juntas constructivas y/o de dilatación
- Deficiencia de aislamiento
- Ausencia o deficiencia de correcta adherencia al soporte
- Existencia de puentes térmicos
- Material inadecuado
- Solución constructiva inadecuada
- Sistema de anclaje y/o sujeción inadecuado
- Ausencia o deficiencia de barrera contra la humedad capilar
- Afección por humedad
- Ausencia o deficiencia de sellado
- Deficiencia en recibido de la carpintería

- Ausencia o deficiencia de ventilación
- Contacto directo con terreno
- Deficiencia de enjarje entre fábricas
- Interrupción de la hoja de ladrillo con otros elementos
- Deficiencia de apoyo en forjados y/o cargaderos
- Falta de mantenimiento
- Deficiencia de verticalidad
- Elementos salientes de fachada mal solucionados
- Deficiencia de juntas entre piezas
- Cargaderos inadecuados o mal atirantados
- Presencia de nivel freático no considerada
- Pobre humectación del soporte

Aun siendo todas probables, las causas más habituales son la ausencia/deficiencia de chapado en elementos estructurales, la ausencia/deficiencia de goterón, el canalón y/o bajantes y la deficiente calidad del enfoscado de mortero.

Todas estas patologías van evolucionando a lo largo del tiempo de una manera ciertamente imprevisible, pero redundante, sin lugar a duda, en un peor comportamiento del aislamiento térmico que será más evidente a medida que la antigüedad de la edificación sea mayor.

Para realizar una compensación de todos estos efectos se realiza una modificación en algunos de los parámetros más habitualmente dañados por estas patologías que son:

- Puentes térmicos
- Infiltraciones de aire

Por lo tanto, los coeficientes de puentes térmicos que se utilizarán para la simulación energética son algo peores que los inicialmente propuestos aun siendo bastante óptimos (son los que cumplen el CTE 2019 para reformas en edificios).

Son los siguientes:

Tipo de puente térmico	Longitud(m)	Y(Wm/K)	L*Y(W/K)
Frente de forjado	310	0,97	300,7
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,384
Esquinas interiores	74,4	-0,16	-11,904
Esquinas exteriores	0	0,11	0
Alfeizar	112,05	0,44	49,302
Dinteles/Capialzados	112,05	0,82	91,881
Jambas	310,3	0,53	164,459
Suelos en contacto con el terreno	36,1	0,57	20,577
Pilares	0	1,2	0
Forjado interior en contacto con aire	0	0,86	0
<b>Σtotal puentes térmicos</b>	1199,05	0,71	849,4

Tabla 54 - Coeficientes de puentes térmicos utilizados en la simulación energética

De la misma forma se modifica el coeficiente de ventilación que pasa de ser de 33 l/s a 0,63 renovaciones por hora, el parámetro más habitual que se utilizaba en el Código Técnico de la Edificación hasta la entrada en vigor del Real Decreto 732/2019 [10].

## 12. CERRAMIENTOS DE ENVOLVENTE UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN

### 12.1. ZONA CLIMÁTICA A – ALMERÍA

Representa a todas las provincias englobadas dentro de la zona climática A (Almería, Cádiz, Málaga, Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas de Gran Canaria)



Ilustración 57 - Provincias de zona climática A según CTE2019

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE05**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	5	0,0375		1,333333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,05
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,489
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,700
<b>CUMPLE</b>					

**Cerramiento medianera:**
**SATE03**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375		0,8
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,59
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,627
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,800
<b>CUMPLE</b>					

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,45**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	5	0,0375		1,333333333
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Fojados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,21
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,452
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,500
<b>CUMPLE</b>					

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe2.05 4-12-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)	$U_{H,p}$	1	
Tipo de marco	PVC dos cámaras	$U_{H,m}$	2,2	
Color del Marco	Marrón Medio	$U_{H,v}$	2	
Tipo de cristal	4-12-4 Vidrio Baja emisividad - $0,1 < e < 0$	$P_{100}$	27	27
% sup. marco	25,00%	$\alpha$	0,75	CUMPLE
% sup. vidrio	75,00%	$g_L$	0,75	
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_{H 2020}$	2,26	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	2,7	CUMPLE
$U_{H CTE2013}$	2,05			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0,88-U0,42</b>				
Superficie	388 m <sup>2</sup>	$B'$	7,92	
Perímetro	98 m			
Grosor Aislamiento:	5 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
$U_{s1}$ Primer metro de la losa	0,877	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	1,25	CUMPLE
$U_{s1}$ Resto de la losa	0,398	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	1,25	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE05	$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>	$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>	$U_{ue}$	0,49 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{ui}/A_{ue}$ 0,494897959	$U_{ui}$	0,66 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>	$H_{ue}$	910,68
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>	$H_{ui}$	651,78
		<b>b</b>	<b>0,58</b>

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,44</b>				
Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375	0,8
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	1,52
Coef.b reducción	0,58		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,385
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	1,250
				CUMPLE

**Forjado NH P5** Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,44**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375		0,800
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,52
Coef.b reducción	0,67			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,44</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>1,25</b>
<b>CUMPLE</b>					

**Forjado P2,P3,P4:** Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53** Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,29
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,77</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>1,8</b>
<b>CUMPLE</b>					

**Partición interior con zonas comunes** Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,5333333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
Coef.b reducción	0,59			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,48</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>1,25</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior ParInt U=0,88 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mK	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,82
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,4
					CUMPLE



**FICHA JUSTIFICATIVA CTE 2020 Nuevos**

Ubicación:	Almería
Normativa:	CTE20
Tipo edificio:	Residenciales
Tipo de intervención:	Nuevos
Zona Climática:	A
Envolvente:	Envolvente 3
Volumen (m³):	6596m3
Sup.ext. Total (m²):	2516,91m2
Carga Interna	Baja

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida	
Almería	

CTE2020	
Zona climática de invierno	A
Zona climática de verano	4

MUROS (UMm) y (UIm)					
TIPOS		A	U	A-U	Resultados
		m²	W/m²K	W/K	
N	en contacto con el aire	SATE05	287,42	0,489	140,41
		SATE05	70,44	0,489	34,41
		SATE05	70,44	0,489	34,41
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00
				0,000	0,00
				0,000	0,00
Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares			14,30
	pilares en fachada				0,00
	cajas de persiana				0,00
					ΣA 428,30 m² ΣA·U 223,53 W/K U <sub>Im</sub> = ΣA·U / ΣA 0,52 W/m²K
U	en contacto con el aire	SATE05	69,71	0,489	34,05
				0,000	0,00
				0,000	0,00
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00
				0,000	0,00
				0,000	0,00
Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares			1,75
	pilares en fachada				0,00
	cajas de persiana				0,00
					ΣA 69,71 m² ΣA·U 35,81 W/K U <sub>Im</sub> = ΣA·U / ΣA 0,51 W/m²K
O	en contacto con el aire	SATE05	69,71	0,489	34,05
				0,000	0,00
				0,000	0,00
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00
				0,000	0,00
				0,000	0,00
Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares			1,75
	pilares en fachada				0,00
	cajas de persiana				0,00
					ΣA 69,71 m² ΣA·U 35,81 W/K U <sub>Im</sub> = ΣA·U / ΣA 0,51 W/m²K
S	en contacto con el aire	SATE05	279,92	0,489	136,75
		SATE05	70,44	0,489	34,41
		SATE05	70,44	0,489	34,41
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00
				0,000	0,00
				0,000	0,00
Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares			14,73
	pilares en fachada				0,00
	cajas de persiana				0,00
					ΣA 420,80 m² ΣA·U 220,30 W/K U <sub>Im</sub> = ΣA·U / ΣA 0,52 W/m²K
SE	en contacto con el aire			0,000	0,00
				0,000	0,00
				0,000	0,00
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00
				0,000	0,00
				0,000	0,00
Puentes Térmicos	contorno de huecos				0,00
	pilares en fachada				0,00
	cajas de persiana				0,00
					ΣA 0,00 m² ΣA·U 0,00 W/K U <sub>Im</sub> = ΣA·U / ΣA 0,00 W/m²K
SO	en contacto con el aire			0,000	0,00
				0,000	0,00
				0,000	0,00
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00
				0,000	0,00
				0,000	0,00
Puentes Térmicos	contorno de huecos				0,00
	pilares en fachada				0,00
	cajas de persiana				0,00
					ΣA 0,00 m² ΣA·U 0,00 W/K U <sub>Im</sub> = ΣA·U / ΣA 0,00 W/m²K
C-TER	muros en contacto con el terreno			0,000	0,00
				0,000	0,00
				0,000	0,00
	cubiertas enterradas			0,000	0,00
				0,000	0,00
				0,000	0,00
soleras o losas a una profundidad superior a 0.5 m			0,000	0,00	
			0,000	0,00	
			0,000	0,00	
					ΣA 0,00 m² ΣA·U 0,00 W/K U <sub>Im</sub> = ΣA·U / ΣA 0,00 W/m²K
SUELOS (USm)					
TIPOS		A	U	A-U	Resultados
		m²	W/m²K	W/K	
SUELOS	apoyados sobre el terreno z <0.5 m	U0,88-U0,42	388,00	0,398	154,31
				0,000	0,00
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00
				0,000	0,00
	Forjados sanitarios			0,000	0,00
				0,000	0,00
en contacto con el aire exterior			0,000	0,00	
					ΣA 388,00 m² ΣA·U 154,31 W/K U <sub>Im</sub> = ΣA·U / ΣA 0,40 W/m²K
CUBIERTAS Y LUCERNARIOS (UCm) Y (UH)					
CUBIERTAS Y LUCERNARIOS	en contacto con el aire exterior	CubU=0,45	395,71	0,451	178,60
				0,000	0,00
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00
				0,000	0,00
	lucernarios			0,000	0,00
				0,000	0,00
puente térmico contorno de lucernarios			0,000	0,00	
					ΣA 395,71 m² ΣA·U 178,60 W/K U <sub>Im</sub> = ΣA·U / ΣA 0,45 W/m²K



LUCERNARIOS (F <sub>lm</sub> )							
TIPOS	A m <sup>2</sup>	F	A·F m <sup>2</sup>	Resultados			
lucernarios				ΣA 0,00 m <sup>2</sup>	ΣA·F 0,00 W/m <sup>2</sup> K	F <sub>lm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00 W/m <sup>2</sup> K	
HUECOS (U <sub>hm</sub> ) y (F <sub>hm</sub> )							
TIPOS	A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> K	F	A·U W/m <sup>2</sup> K	A·F m <sup>2</sup>	Resultados	
N	PVCe2.05 4-12-4	28,00	2,050		57,400		
	PVCe2.05 4-12-4	21,00	2,050		43,050		
	PVCe2.05 4-12-4	10,08	2,050		20,664		ΣA 77,50 m <sup>2</sup>
	PVCe2.05 4-12-4	10,50	2,050		21,525		ΣA·U 158,88 m <sup>2</sup>
	PVCe2.05 4-12-4	7,92	2,050		16,236		U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 2,05 W/m <sup>2</sup> K
E	PVCe2.05 4-12-4	4,40	2,050	0,54	9,020	2,38	ΣA 6,29 m <sup>2</sup>
	PVCe2.05 4-12-4	1,89	2,050	0,54	3,875	1,02	ΣA·U 12,89 m <sup>2</sup>
			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 3,41 m <sup>2</sup>
			0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 2,05 W/m <sup>2</sup> K
			0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
O	PVCe2.05 4-12-4	4,40	2,050	0,54	9,020	2,38	ΣA 6,29 m <sup>2</sup>
	PVCe2.05 4-12-4	1,89	2,050	0,54	3,875	1,02	ΣA·U 12,89 m <sup>2</sup>
			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 3,41 m <sup>2</sup>
			0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 2,05 W/m <sup>2</sup> K
			0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
S	PVCe2.05 4-12-4	28,00	2,050	0,54	57,400	15,16	ΣA 77,08 m <sup>2</sup>
	PVCe2.05 4-12-4	21,00	2,050	0,54	43,050	11,37	ΣA·U 158,01 m <sup>2</sup>
	PVCe2.05 4-12-4	10,08	2,050	0,54	20,664	5,46	ΣA·F 41,74 m <sup>2</sup>
	PVCe2.05 4-12-4	6,00	2,050	0,54	12,300	3,25	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 2,05 W/m <sup>2</sup> K
	PVCe2.05 4-12-4	12,00	2,050	0,54	24,600	6,50	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
SE			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA 0,00 m <sup>2</sup>
			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·U 0,00 m <sup>2</sup>
			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 0,00 m <sup>2</sup>
			0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 0,00 W/m <sup>2</sup> K
			0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00
SO			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA 0,00 m <sup>2</sup>
			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·U 0,00 m <sup>2</sup>
			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 0,00 m <sup>2</sup>
			0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 0,00 W/m <sup>2</sup> K
			0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00

Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica. Valores máximos totales	Cumple	U <sub>env( proyecto )</sub>	U <sub>env( RE-T )</sub>
Muros de fachada		0,480	≤ 0,700
Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno		0,398	
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables		0,600	≤ 0,800
Suelos		0,398	≤ 0,500
Cubiertas		0,451	≤ 0,500
Vidrios de huecos y lucernarios		2,850	≤ 2,700
Marcos de huecos y lucernarios		2,850	
Medanterías	SATE03	0,654	≤ 0,800
Particiones interiores con espacios no habitables	F-Cub 0,44	0,59	≤ 1,250
Particiones interiores	ParInt U=0,88	0,59	≤ 1,200

Muros, Huecos y Lucernarios. Valores medios por fachadas							
Orientación	Muros de Fachada W/m <sup>2</sup> K		Huecos W/m <sup>2</sup> K				Orientación
Norte	0,522	≤ 0,940	U <sub>hm</sub>	%Huecos	F <sub>hm</sub>	F <sub>lm</sub>	Norte
Este	0,514		2,050	13,32%	0,542	-	Este
Oeste	0,514		2,050	8,28%	0,542	-	Oeste
Sur	0,524		2,050	8,28%	0,542	-	Sur
Sureste	0,000		0,000	0,00%	0,000	0,000	Sureste
Suroeste	0,000		0,000	0,00%	0,000	0,000	Suroeste
Cerramiento en contacto con el terreno W/m <sup>2</sup> K		Suelos W/m <sup>2</sup> K		Cubiertas W/m <sup>2</sup> K		Lucernarios	
U <sub>tm</sub> ≤ U <sub>lim</sub>		U <sub>sm</sub> ≤ U <sub>slm</sub>		U <sub>cm</sub> ≤ U <sub>clm</sub>		F <sub>lm</sub> ≤ F <sub>lim</sub>	
0,000 ≤ 0,940		0,398 ≤ 0,530		0,451 ≤ 0,500		0,000 ≤ 0,290	
<b>Cumple</b>							

Superficies	Muro	Huecos	Total	% Huecos	
Norte	428,30 m <sup>2</sup>	77,50 m <sup>2</sup>	505,80 m <sup>2</sup>	15,32%	Cumple
Este	69,71 m <sup>2</sup>	6,29 m <sup>2</sup>	76,00 m <sup>2</sup>	8,28%	
Sureste	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00%	
Sur	420,80 m <sup>2</sup>	77,08 m <sup>2</sup>	497,88 m <sup>2</sup>	15,48%	
Suroeste	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00%	
Oeste	69,71 m <sup>2</sup>	6,29 m <sup>2</sup>	76,00 m <sup>2</sup>	8,28%	
Cubierta	Cubierta	Lucernarios	Total	% Huecos	Cumple
	395,71 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	395,71 m <sup>2</sup>	0,00%	

Se puede aplicar el Método Simplificado

## 12.2.ZONA CLIMÁTICA B – SEVILLA

Representa a todas las provincias englobadas dentro de la zona climática B (Sevilla, Huelva, Córdoba, Murcia, Alicante, Valencia, Castellón, Tarragona e Islas Baleares).



*Ilustración 58 - Provincias de zona climática B según CTE2019*

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55	0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375	1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667	0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432	0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,31
			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,432
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,560
				CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE03**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55	0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375	0,8
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667	0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432	0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,59
			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,627
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,750
				CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,40**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1	0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07	0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	2	0	0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375	1,6
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23	0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,48
			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,404
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,440
				CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe2.05 4-12-4</b>			
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)	$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras	$U_{H,m}$	2,2
Color del Marco	Marrón Medio	$U_{H,v}$	2
Tipo de cristal	4-12-4 Vidrio Baja emisividad - $0,1 < e < 0$	$P_{100}$	27 <sup>27</sup>
% sup. marco	25,00%	$\alpha$	0,75 <b>CUMPLE</b>
% sup. vidrio	75,00%	$g_L$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%		
$U_H$ 2020:	2,26	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	2,3 <b>CUMPLE</b>
$U_H$ CTE2013:	2,05		
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0,88-U0,42</b>			
Superficie	388 m <sup>2</sup>	$B'$	7,92
Perímetro	98 m		
Grosor Aislamiento:	5 cm		
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m		
$U_{s1}$ Primer metro de la losa	0,877	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	1 <b>CUMPLE</b>
$U_{s1}$ Resto de la losa	0,398	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	1 <b>CUMPLE</b>

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE06	$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>	$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>	$U_{ue}$	0,43 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{i}/A_{ue}$ 0,494897959	$U_{ui}$	0,66 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>	$H_{ue}$	866,54
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>	$H_{ui}$	651,78
		<b>b</b>	<b>0,57</b>

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**
**F-Cub 0,44**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/entucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375	0,8
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Entucidos	Entucido de yeso $1000 < d < 1300$	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	1,52
Coef.b reducción	0,57		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,377
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	1,100
				<b>CUMPLE</b>

**Forjado NH P5** Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,44**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mk]]	3	0,0375		0,800	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,52	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,44
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,1	
<b>CUMPLE</b>						

**Forjado P2,P3,P4:** Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53** Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mk]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,77
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,55
<b>CUMPLE</b>					

**Partición interior con zonas comunes** Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mk]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,48
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,1	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

ParInt U=0,88

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,82
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,2
<b>CUMPLE</b>					



**FICHA JUSTIFICATIVA CTE 2020 Nuevos**

Ubicación:	Sevilla	Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Normativa:	CTE20	
Tipo edificio:	Residenciales	Sevilla
Tipo de intervención:	Nuevos	
Zona Climática:	B	CTE2020
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de invierno
Volumen (m³):	6596m3	Zona climática de verano
Sup.ext. Total (m²):	2516,91m2	B
Carga Interna	Baja	4

MUROS (UMm) y (Utm)							
TIPOS			A	U	A-U	Resultados	
			m²	W/m²K	W/m²K		
N	en contacto con el aire	SATE06	287,42	0,432	124,23	ΣA 428,30 m² ΣA-U 199,42 W/m²K U <sub>med</sub> = ΣA-U / ΣA 0,47 W/m²K	
		SATE06	70,44	0,432	30,45		
		SATE06	70,44	0,432	30,45		
	Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares				14,30
		pisares en fachada					0,00
		cajas de persiana					0,00
E	en contacto con el aire	SATE06	69,71	0,432	30,13	ΣA 69,71 m² ΣA-U 31,88 W/m²K U <sub>med</sub> = ΣA-U / ΣA 0,46 W/m²K	
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares				1,75
		pisares en fachada					0,00
		cajas de persiana					0,00
O	en contacto con el aire	SATE06	69,71	0,432	30,13	ΣA 69,71 m² ΣA-U 31,88 W/m²K U <sub>med</sub> = ΣA-U / ΣA 0,46 W/m²K	
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares				1,75
		pisares en fachada					0,00
		cajas de persiana					0,00
S	en contacto con el aire	SATE06	279,92	0,432	120,99	ΣA 420,80 m² ΣA-U 196,60 W/m²K U <sub>med</sub> = ΣA-U / ΣA 0,47 W/m²K	
		SATE06	70,44	0,432	30,45		
		SATE06	70,44	0,432	30,45		
	Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares				14,73
		pisares en fachada					0,00
		cajas de persiana					0,00
SE	en contacto con el aire			0,000	0,00	ΣA 0,00 m² ΣA-U 0,00 W/m²K U <sub>med</sub> = ΣA-U / ΣA 0,00 W/m²K	
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	Puentes Térmicos	contorno de huecos					0,00
		pisares en fachada					0,00
		cajas de persiana					0,00
SO	en contacto con el aire			0,000	0,00	ΣA 0,00 m² ΣA-U 0,00 W/m²K U <sub>med</sub> = ΣA-U / ΣA 0,00 W/m²K	
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	Puentes Térmicos	contorno de huecos					0,00
		pisares en fachada					0,00
		cajas de persiana					0,00
C-TER	muros en contacto con el terreno			0,000	0,00	ΣA 0,00 m² ΣA-U 0,00 W/m²K U <sub>med</sub> = ΣA-U / ΣA 0,00 W/m²K	
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	cubiertas enterradas				0,000		0,00
					0,000		0,00
					0,000		0,00
<b>SUELOS (USm)</b>							
TIPOS			A	U	A-U	Resultados	
			m²	W/m²K	W/m²K		
SUELOS	apoyados sobre el terreno z <0.5 m	U0,68-U0,42	388,00	0,388	154,31	ΣA 388,00 m² ΣA-U 154,31 W/m²K U <sub>med</sub> = ΣA-U / ΣA 0,40 W/m²K	
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	en contacto con espacios no habitables	Fojados sanitarios			0,000		0,00
					0,000		0,00
					0,000		0,00
en contacto con el aire exterior				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
<b>CUBIERTAS Y LUCERNARIOS (UCm) Y (UH)</b>							
CUBIERTAS Y LUCERNARIOS	en contacto con el aire exterior	CubU=0,40	395,71	0,403	159,41	ΣA 395,71 m² ΣA-U 159,41 W/m²K U <sub>med</sub> = ΣA-U / ΣA 0,40 W/m²K	
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	lucernarios				0,000		0,00
					0,000		0,00
					0,000		0,00
puente térmico				0,000	0,00		
	contorno de lucernarios			0,000	0,00		



LUCERNARIOS (F <sub>lm</sub> )							
TIPOS		A m²	F	A·F m²	Resultados		
lucernarios					ΣA 0,00 m² ΣA·F 0,00 W/K F <sub>lm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00 W/m²K		
HUECOS (U <sub>hm</sub> ) y (F <sub>hm</sub> )							
TIPOS		A m²	U W/m²K	F	A·U W/K	A·F m²	Resultados
N	PVCe2.05 4-12-4	28,00	2,050		57,400		
	PVCe2.05 4-12-4	21,00	2,050		43,050		
	PVCe2.05 4-12-4	10,08	2,050		20,664		ΣA 77,50 m²
	PVCe2.05 4-12-4	10,50	2,050		21,525		ΣA·U 158,88 m²
	PVCe2.05 4-12-4	7,92	2,050		16,236		U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 2,05 W/m²K
E	PVCe2.05 4-12-4	4,40	2,050	0,54	9,020	2,38	ΣA 6,29 m²
	PVCe2.05 4-12-4	1,89	2,050	0,54	3,875	1,02	ΣA·U 12,89 m²
			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 3,41 m²
			0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 2,05 W/m²K
			0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
O	PVCe2.05 4-12-4	4,40	2,050	0,54	9,020	2,38	ΣA 6,29 m²
	PVCe2.05 4-12-4	1,89	2,050	0,54	3,875	1,02	ΣA·U 12,89 m²
			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 3,41 m²
			0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 2,05 W/m²K
			0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
S	PVCe2.05 4-12-4	28,00	2,050	0,54	57,400	15,16	ΣA 77,08 m²
	PVCe2.05 4-12-4	21,00	2,050	0,54	43,050	11,37	ΣA·U 158,01 m²
	PVCe2.05 4-12-4	10,08	2,050	0,54	20,664	5,46	ΣA·F 41,74 m²
	PVCe2.05 4-12-4	6,00	2,050	0,54	12,300	3,25	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 2,05 W/m²K
	PVCe2.05 4-12-4	12,00	2,050	0,54	24,600	6,50	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
SE			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA 0,00 m²
			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·U 0,00 m²
			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 0,00 m²
			0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 0,00 W/m²K
			0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00
SO			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA 0,00 m²
			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·U 0,00 m²
			0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 0,00 m²
			0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 0,00 W/m²K
			0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00

Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica. Valores máximos totales	Cumple	U <sub>max(proy)</sub>	U <sub>max(06-11)</sub>
Muros de fachada		0,422	≤ 0,500
Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno		0,398	
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables		0,600	
Suelos		0,398	≤ 0,750
Cubiertas		0,403	≤ 0,440
Vidrios de huecos y lucernarios		2,650	≤ 2,900
Marcos de huecos y lucernarios		2,650	
Medianerías SATE03		0,654	≤ 0,750
Particiones interiores con espacios no habitables F-Cub 0,44	0,59	0,281	≤ 1,100
Particiones interiores PartInt U=0,88	0,59	0,422	≤ 1,200

**Muros, Huecos y Lucernarios. Valores medios por fachadas**

Orientación	Muros de Fachada W/m²K		Huecos W/m²K				Orientación
	U <sub>hm</sub>	U <sub>lm</sub>	U <sub>hm</sub>	%Huecos	F <sub>lm</sub>	F <sub>hm</sub>	
Norte	0,466	≤ 0,820	2,050	15,32%	0,542	-	Norte
Este	0,457		2,050	8,28%	0,542	-	Este
Oeste	0,467		2,050	8,28%	0,542	-	Oeste
Sur	0,000		2,050	15,48%	0,542	-	Sur
Sureste	0,000		0,000	0,00%	0,000	0,000	Sureste
Suroeste	0,000		0,000	0,00%	0,000	0,000	Suroeste

Cerramiento en contacto con el terreno W/m²K		Suelos W/m²K		Cubiertas W/m²K		Lucernarios	
U <sub>tm</sub>	U <sub>lm</sub>	U <sub>sa</sub>	U <sub>stn</sub>	U <sub>ca</sub>	U <sub>ctm</sub>	F <sub>lm</sub>	F <sub>hm</sub>
0,000	≤ 0,820	0,398	≤ 0,520	0,401	≤ 0,450	0,000	≤ 0,280

	Superficies		Total	% Huecos	Cumple
	Muro	Huecos			
Norte	428,30 m²	77,50 m²	505,80 m²	15,32%	Cumple
Este	69,71 m²	6,29 m²	76,00 m²	8,28%	
Sureste	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00%	
Sur	420,80 m²	77,08 m²	497,88 m²	15,48%	
Suroeste	0,00 m²	0,00 m²	0,00 m²	0,00%	
Oeste	69,71 m²	6,29 m²	76,00 m²	8,28%	
Cubierta	Cubierta	Lucernarios	Total	% Huecos	Cumple
	395,71 m²	0,00 m²	395,71 m²	0,00%	Cumple

Se puede aplicar el Método Simplificado

### 12.3.ZONA CLIMÁTICA C – BARCELONA

Representa a todas las provincias englobadas dentro de la zona climática C (Barcelona, La Coruña, Pontevedra, Orense, Asturias, Cantabria, Vizcaya, Guipúzcoa, Gerona, Cáceres, Badajoz, Toledo, Jaén y Granada).



Ilustración 59 - Provincias de zona climática C según CTE2019

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE08**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55	0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	8	0,0375	2,133333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667	0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432	0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,85
			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,351</b>
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,490</b>
				CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE04**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55	0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	4	0,0375	1,066666667
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667	0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432	0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,86
			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,538</b>
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,700</b>
				CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,36**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1	0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07	0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	2	0	0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	7	0,0375	1,866666667
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23	0,004347826
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,74
			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,364</b>
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,400</b>
				CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.82 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,8
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - 0,1 < e < 0		<b>P<sub>100</sub></b>	9 <sup>9</sup>
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75 <b>CUMPLE</b>
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>L</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H 2020</sub></b>	2,09	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	2,1	<b>CUMPLE</b>
<b>U<sub>H CTE2013</sub></b>	1,90			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0,70-U0,40</b>				
<b>Superficie</b>	388 m <sup>2</sup>	<b>B'</b>	7,92	
<b>Perimetro</b>	98 m			
<b>Grosor Aislamiento:</b>	7 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
U <sub>s1</sub> Primer metro de la losa	0,704	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75	<b>CUMPLE</b>
Us1 Resto de la losa	0,369	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75	<b>CUMPLE</b>

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE08	<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>	<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>	<b>U<sub>ue</sub></b>	0,35 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	A <sub>iu</sub> /A <sub>ue</sub> 0,494897959	<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>	<b>H<sub>ue</sub></b>	803,06
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>	<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
		<b>b</b>	0,59

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
Familia de material	Material	espesor cm	λ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef. b reducción</b>	0,59		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	<b>0,254</b>
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	<b>0,950</b>
				<b>CUMPLE</b>

**Forjado NH P5** Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,600
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32
Coef.b reducción	0,67			U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

**Forjado P2,P3,P4:** Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53** Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,35</b>
<b>CUMPLE</b>					

**Partición interior con zonas comunes** Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
Coef.b reducción	0,59			U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

ParInt U=0,88

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,82
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,2
					CUMPLE



**FICHA JUSTIFICATIVA CTE 2020 Nuevos**

Ubicación:	Barcelona
Normativa:	CTE20
Tipo edificio:	Residenciales
Tipo de intervención:	Nuevos
Zona Climática:	C
Envolvente:	Envolvente 3
Volumen (m³):	6596m3
Sup.ext. Total (m²):	2516,91m2
Carga Interna:	Baja

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida	
Barcelona	

CTE2020	
Zona climática de invierno	C
Zona climática de verano	2

MUROS (UMm) y (UTm)						
TIPOS		A	U	A-U	Resultados	
		m²	W/m²K	W/K		
N	en contacto con el aire	SATE08	287,42	0,351	100,96	ΣA 428,30 m² ΣA-U 164,74 W/K U <sub>adm</sub> = ΣA-U / ΣA 0,38 W/m²K
		SATE08	70,44	0,351	24,74	
		SATE08	70,44	0,351	24,74	
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares		14,30	
		pilares en fachada			0,00	
		cajas de persiana			0,00	
	E	en contacto con el aire	SATE08	69,71	0,351	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
en contacto con espacios no habitables				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
Puentes Térmicos		contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares		1,75	
		pilares en fachada			0,00	
		cajas de persiana			0,00	
O		en contacto con el aire	SATE08	69,71	0,351	24,49
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares		1,75	
		pilares en fachada			0,00	
		cajas de persiana			0,00	
	S	en contacto con el aire	SATE08	279,92	0,351	98,32
SATE08			70,44	0,351	24,74	
SATE08			70,44	0,351	24,74	
en contacto con espacios no habitables				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
Puentes Térmicos		contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares		14,73	
		pilares en fachada			0,00	
		cajas de persiana			0,00	
SE		en contacto con el aire			0,000	0,00
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	Puentes Térmicos	contorno de huecos			0,00	
		pilares en fachada			0,00	
		cajas de persiana			0,00	
	SO	en contacto con el aire			0,000	0,00
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
en contacto con espacios no habitables				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
Puentes Térmicos		contorno de huecos			0,00	
		pilares en fachada			0,00	
		cajas de persiana			0,00	
C-TER		muros en contacto con el terreno			0,000	0,00
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	cubiertas enterradas			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
soleras o losas a una profundidad superior a 0.5 m			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
SUELOS (USm)						
TIPOS		A	U	A-U	Resultados	
		m²	W/m²K	W/K		
SUELOS	apoyados sobre el terreno z <0,5 m	U0,70-U0,40	388,00	0,369	143,18	ΣA 388,00 m² ΣA-U 143,18 W/K U <sub>adm</sub> = ΣA-U / ΣA 0,37 W/m²K
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
Fojados sanitarios			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
en contacto con el aire exterior			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
CUBIERTAS Y LUCERNARIOS (UCm) Y (UH)						
CUBIERTAS Y LUCERNARIOS	en contacto con el aire exterior	CubU=0,36	395,71	0,364	143,95	ΣA 395,71 m² ΣA-U 143,95 W/K U <sub>adm</sub> = ΣA-U / ΣA 0,36 W/m²K
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	lucernarios			0,000	0,00	
			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
puente térmico			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
contorno de lucernarios			0,000	0,00		
			0,000	0,00		



LUCERNARIOS (F <sub>ln</sub> )						
TIPOS	A m²	F	A·F m²	Resultados		
lucernarios				ΣA 0,00 m² ΣA·F 0,00 W/m²K F <sub>ln</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00 W/m²K		
HUECOS (U <sub>hn</sub> ) y (F <sub>hn</sub> )						
TIPOS	A m²	U W/m²K	F	A·U W/m²K	A·F m²	Resultados
N	PVCe1.82 4-20-4	28,00	1,900	53,200		
	PVCe1.82 4-20-4	21,00	1,900	39,900		
	PVCe1.82 4-20-4	10,08	1,900	19,152		ΣA 77,50 m²
	PVCe1.82 4-20-4	10,50	1,900	19,950		ΣA·U 147,25 m²
	PVCe1.82 4-20-4	7,92	1,900	15,048		U <sub>hn</sub> = ΣA·U / ΣA 1,90 W/m²K
E	PVCe1.82 4-20-4	4,40	1,900	8,360	2,38	ΣA 6,29 m²
	PVCe1.82 4-20-4	1,89	1,900	3,591	1,02	ΣA·U 11,95 m²
		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 3,41 m²
		0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hn</sub> = ΣA·U / ΣA 1,90 W/m²K
		0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hn</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
O	PVCe1.82 4-20-4	4,40	1,900	8,360	2,38	ΣA 6,29 m²
	PVCe1.82 4-20-4	1,89	1,900	3,591	1,02	ΣA·U 11,95 m²
		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 3,41 m²
		0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hn</sub> = ΣA·U / ΣA 1,90 W/m²K
		0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hn</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
S	PVCe1.82 4-20-4	28,00	1,900	53,200	15,16	ΣA 77,08 m²
	PVCe1.82 4-20-4	21,00	1,900	39,900	11,37	ΣA·U 146,45 m²
	PVCe1.82 4-20-4	10,08	1,900	19,152	5,46	ΣA·F 41,74 m²
	PVCe1.82 4-20-4	6,00	1,900	11,400	3,25	U <sub>hn</sub> = ΣA·U / ΣA 1,90 W/m²K
	PVCe1.82 4-20-4	12,00	1,900	22,800	6,50	F <sub>hn</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
SE		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA 0,00 m²
		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·U 0,00 m²
		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 0,00 m²
		0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hn</sub> = ΣA·U / ΣA 0,00 W/m²K
		0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hn</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00
SO		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA 0,00 m²
		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·U 0,00 m²
		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 0,00 m²
		0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hn</sub> = ΣA·U / ΣA 0,00 W/m²K
		0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hn</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00

Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica. Valores máximos totales	Cumple	U <sub>max(Proyecto)</sub>	U <sub>max(08 HE-1)</sub>
Muros de fachada		0,251	≤ 0,400
Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno		0,269	
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables		0,600	≤ 0,700
Suelos		0,289	
Cubiertas		0,264	≤ 0,400
Vidrios de huecos y lucernarios		1,900	≤ 2,100
Marcos de huecos y lucernarios		1,900	
Medianerías	SATE04	0,562	≤ 0,700
Particiones interiores con espacios no habitables	F-Cub 0,28	0,59	≤ 0,650
Particiones interiores	Parint U=0,88	0,59	≤ 1,200

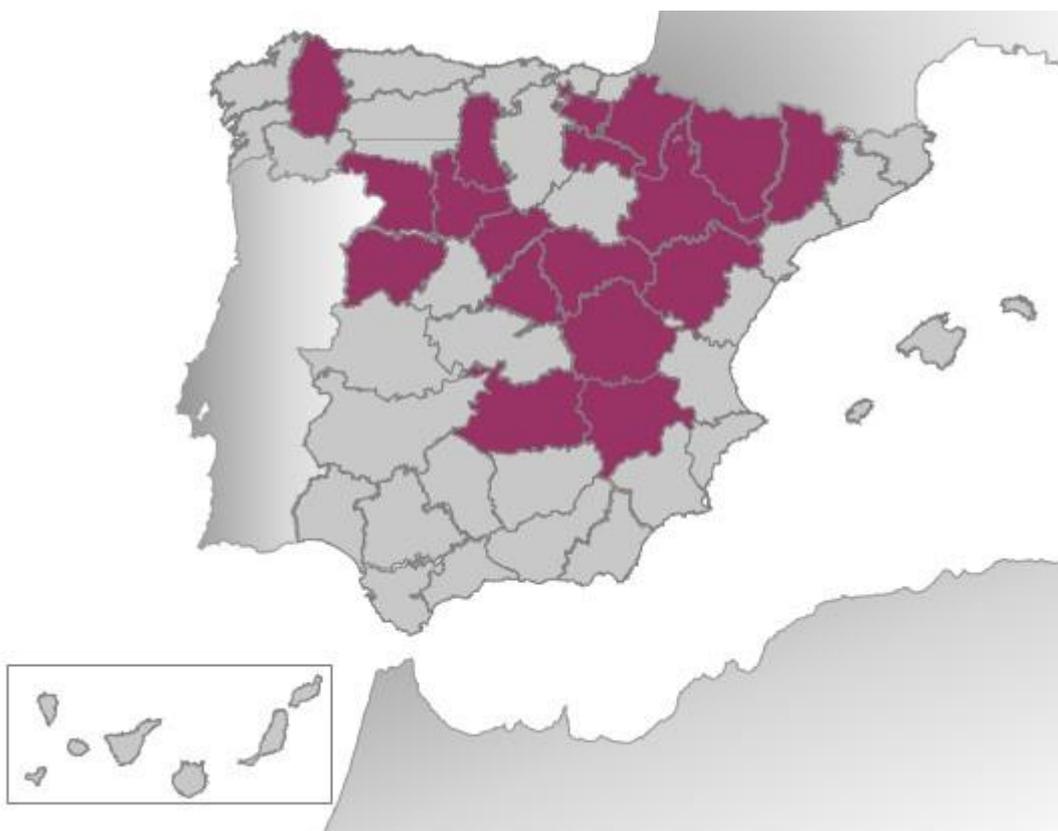
Muros, Huecos y Lucernarios. Valores medios por fachadas							
Orientación	Muros de Fachada W/m²K		Huecos W/m²K				Orientación
	U <sub>hm</sub>	U <sub>hm</sub>	U <sub>hm</sub>	%Huecos	F <sub>hm</sub>	F <sub>hm</sub>	
Norte	0,385	≤ 0,730	1,900	13,30%	0,542	≤ -	Norte
Este	0,376		1,900	8,28%	0,542	≤ -	Este
Oeste	0,376		1,900	8,28%	0,542	≤ -	Oeste
Sur	0,386		1,900	15,46%	0,542	≤ -	Sur
Sureste	0,000		0,000	0,00%	0,000	≤ 0,000	Sureste
Suroeste	0,000		0,000	0,00%	0,000	≤ 0,000	Suroeste
Cerramiento en contacto con el terreno W/m²K			Suelos W/m²K		Cubiertas W/m²K		Lucernarios
U <sub>tm</sub>	U <sub>tm</sub>	U <sub>sm</sub>	U <sub>sm</sub>	U <sub>cm</sub>	F <sub>ln</sub>	F <sub>ln</sub>	
0,000	≤ 0,730	0,369	≤ 0,500	0,364	≤ 0,410	0,000	≤ 0,320
<b>Cumple</b>							

Superficies	Muro		Huecos		Total		% Huecos	Cumple
	Superficie	U <sub>hm</sub>	Superficie	U <sub>hm</sub>	Superficie	U <sub>hm</sub>		
Norte	428,30 m²	0,385	77,50 m²	1,900	505,80 m²	1,900	15,32%	Cumple
Este	69,71 m²	0,376	6,29 m²	1,900	76,00 m²	1,900	8,28%	
Sureste	0,00 m²	0,000	0,00 m²	0,000	0,00 m²	0,000	0,00%	
Sur	420,80 m²	0,376	77,08 m²	1,900	497,88 m²	1,900	15,48%	
Suroeste	0,00 m²	0,000	0,00 m²	0,000	0,00 m²	0,000	0,00%	
Oeste	69,71 m²	0,376	6,29 m²	1,900	76,00 m²	1,900	8,28%	
Cubierta	Cubierta		Lucernarios		Total		% Huecos	Cumple
	395,71 m²	0,000	0,00 m²	0,000	395,71 m²	0,000	0,00%	Cumple

Se puede aplicar el Método Simplificado

## 12.4. ZONA CLIMÁTICA D – LOGROÑO

Representa a todas las provincias englobadas dentro de la zona climática D (La Rioja, Lugo, Álava, Navarra, Huesca, Zaragoza, Teruel, Lérida, Segovia, Valladolid, Palencia, Zamora, Salamanca, Madrid, Ciudad Real, Albacete, Cuenca y Guadalajara).



*Ilustración 60 - Provincias de zona climática D según CTE2019*

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,65
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,274
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,410
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,650
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,28
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,305
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,350
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCE1.60 4-20-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)		$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras		$U_{H,m}$	2,2
Color del Marco	Marrón Medio		$U_{H,v}$	1,4
Tipo de cristal	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03		$P_{100}$	9
% sup. marco	25,00%		$\alpha$	0,75 <b>CUMPLE</b>
% sup. vidrio	75,00%		$g_{\perp}$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_H$ 2020:	1,76	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	1,8	<b>CUMPLE</b>
$U_H$ CTE2013:	1,60			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0,59-U0,39</b>				
Superficie	388 m <sup>2</sup>	$B'$	7,92	
Perímetro	98 m			
Grosor Aislamiento:	9 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
$U_{s1}$ Primer metro de la losa	0,594	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	0,6	<b>CUMPLE</b>
$U_{s1}$ Resto de la losa	0,354	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	0,6	<b>CUMPLE</b>

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE11	$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>	$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>	$U_{ue}$	0,27 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{iu}/A_{ue}$ 0,494897959	$U_{ui}$	0,43 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>	$H_{ue}$	742,65
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>	$H_{ui}$	563,33
		$b$	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	2,32
Coef.b reducción	0,57		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,246
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	0,850
				<b>CUMPLE</b>

**Forjado NH P5** Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,600	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,32	
Coef.b reducción				0,67	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,29</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,85</b>	
<b>CUMPLE</b>						

**Forjado P2,P3,P4:** Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53** Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,29
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,77</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>1,2</b>
<b>CUMPLE</b>					

**Partición interior con zonas comunes** Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,48</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,85</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

ParInt U=0,88

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,82
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,2
					CUMPLE

**FICHA JUSTIFICATIVA CTE 2020 Nuevos**

Ubicación:	Logroño
Normativa:	CTE20
Tipo edificio:	Residenciales
Tipo de intervención:	Nuevos
Zona Climática:	D
Envolvente:	Envolvente 3
Volumen (m³):	6596m3
Sup.ext. Total (m²):	2516,91m2
Carga Interna:	Baja

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida	
Logroño	

CTE2020	
Zona climática de invierno	D
Zona climática de verano	2

MUROS (UMm) y (UTm)							
TIPOS			A m²	U W/m²K	A-U W/K	Resultados	
N	en contacto con el aire	SATE11	287,42	0,274	78,81	$\Sigma A$ 428,30 m² $\Sigma A \cdot U$ 131,74 W/K $U_{\text{m}} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$ 0,31 W/m²K	
		SATE11	70,44	0,274	19,31		
		SATE11	70,44	0,274	19,31		
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00		
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares		14,30			
	pilares en fachada			0,00			
	cajas de persiana			0,00			
E	en contacto con el aire	SATE11	69,71	0,274	19,11		
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00		
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares		1,75			
	pilares en fachada			0,00			
	cajas de persiana			0,00			
O	en contacto con el aire	SATE11	69,71	0,274	19,11		
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00		
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares		1,75			
	pilares en fachada			0,00			
	cajas de persiana			0,00			
S	en contacto con el aire	SATE11	279,92	0,274	76,75	$\Sigma A$ 420,80 m² $\Sigma A \cdot U$ 130,11 W/K $U_{\text{m}} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$ 0,31 W/m²K	
		SATE11	70,44	0,274	19,31		
		SATE11	70,44	0,274	19,31		
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00		
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares		14,73			
	pilares en fachada			0,00			
	cajas de persiana			0,00			
SE	en contacto con el aire			0,000	0,00		
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00		
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
Puentes Térmicos	contorno de huecos			0,00			
	pilares en fachada			0,00			
	cajas de persiana			0,00			
SO	en contacto con el aire			0,000	0,00		
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00		
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
Puentes Térmicos	contorno de huecos			0,00			
	pilares en fachada			0,00			
	cajas de persiana			0,00			
C-TER	muros en contacto con el terreno			0,000	0,00		
				0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	cubiertas enterradas			0,000	0,00		
soleras o losas a una profundidad superior a 0.5 m			0,000	0,00			
			0,000	0,00			
<b>SUELOS (USm)</b>							
TIPOS			A m²	U W/m²K	A-U W/K	Resultados	
SUELOS	apoyados sobre el terreno z <0.5 m	U0.59-U0.39	388,00	0,354	137,54	$\Sigma A$ 388,00 m² $\Sigma A \cdot U$ 137,54 W/K $U_{\text{m}} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$ 0,35 W/m²K	
				0,000	0,00		
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	Fojados sanitarios			0,000	0,00		
en contacto con el aire exterior			0,000	0,00			
<b>CUBIERTAS Y LUCERNARIOS (UCm) Y (UH)</b>							
CUBIERTAS Y LUCERNARIOS	en contacto con el aire exterior	CubU=0,30	395,71	0,305	120,56		$\Sigma A$ 395,71 m² $\Sigma A \cdot U$ 120,56 W/K $U_{\text{m}} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$ 0,30 W/m²K
				0,000	0,00		
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00		
				0,000	0,00		
	lucernarios			0,000	0,00		
				0,000	0,00		
puente térmico contorno de lucernarios			0,000	0,00			
			0,000	0,00			



LUCERNARIOS (F <sub>lm</sub> )						
TIPOS	A m <sup>2</sup>	F	A·F m <sup>2</sup>	Resultados		
lucernarios				ΣA 0,00 m <sup>2</sup>	ΣA·F 0,00 W/m <sup>2</sup> K	F <sub>lm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00 W/m <sup>2</sup> K
HUECOS (U <sub>hm</sub> ) y (F <sub>hm</sub> )						
TIPOS	A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> K	F	A·U W/m <sup>2</sup> K	A·F m <sup>2</sup>	Resultados
N	PVCe1.60 4-20-4	28,00	1,600	44,800		
	PVCe1.60 4-20-4	21,00	1,600	33,600		
	PVCe1.60 4-20-4	10,08	1,600	16,128		ΣA 77,50 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	10,50	1,600	16,800		ΣA·U 124,00 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	7,92	1,600	12,672		U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 1,60 W/m <sup>2</sup> K
E	PVCe1.60 4-20-4	4,40	1,600	7,040	2,38	ΣA 6,29 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	1,89	1,600	3,024	1,02	ΣA·U 10,06 m <sup>2</sup>
		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 3,41 m <sup>2</sup>
		0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 1,60 W/m <sup>2</sup> K
		0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
O	PVCe1.60 4-20-4	4,40	1,600	7,040	2,38	ΣA 6,29 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	1,89	1,600	3,024	1,02	ΣA·U 10,06 m <sup>2</sup>
		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 3,41 m <sup>2</sup>
		0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 1,60 W/m <sup>2</sup> K
		0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
S	PVCe1.60 4-20-4	28,00	1,600	44,800	15,16	ΣA 77,08 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	21,00	1,600	33,600	11,37	ΣA·U 123,33 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	10,08	1,600	16,128	5,46	ΣA·F 41,74 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	6,00	1,600	9,600	3,25	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 1,60 W/m <sup>2</sup> K
	PVCe1.60 4-20-4	12,00	1,600	19,200	6,50	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
SE		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA 0,00 m <sup>2</sup>
		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·U 0,00 m <sup>2</sup>
		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 0,00 m <sup>2</sup>
		0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 0,00 W/m <sup>2</sup> K
		0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00
SO		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA 0,00 m <sup>2</sup>
		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·U 0,00 m <sup>2</sup>
		0,000	0,00	0,000	0,00	ΣA·F 0,00 m <sup>2</sup>
		0,000	0,00	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 0,00 W/m <sup>2</sup> K
		0,000	0,00	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00

Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica. Valores máximos totales	Cumple	U <sub>tra</sub> (proyecto)	U <sub>tra</sub> (08 HE-1)
Muros de fachada		0,274	≤ 0,410
Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno		0,234	
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables		0,600	
Suelos		0,234	≤ 0,650
Cubiertas		0,203	≤ 0,350
Vidrios de huecos y lucernarios		1,000	≤ 1,000
Marcos de huecos y lucernarios		1,000	
Medianerías	SATE06	0,432	≤ 0,650
Particiones interiores con espacios no habitables	F-Cub 0,28	0,59	≤ 0,650
Particiones interiores	ParInt U=0,88	0,59	≤ 1,200

Muros, Huecos y Lucernarios. Valores medios por fachadas							
Orientación	Muros de Fachada W/m <sup>2</sup> K		Huecos W/m <sup>2</sup> K				Orientación
	U <sub>hm</sub>	U <sub>tm</sub>	U <sub>hm</sub>	%Huecos	F <sub>hm</sub>	F <sub>tm</sub>	
Norte	0,308	≤ 0,660	1,600	13,32%			Norte
Este	0,299		1,600	8,28%	0,542	-	Este
Oeste	0,299		1,600	8,28%	0,542	-	Oeste
Sur	0,309		1,600	15,46%	0,542	-	Sur
Sureste	0,000		0,000	0,00%	0,000	0,000	Sureste
Suroeste	0,000		0,000	0,00%	0,000	0,000	Suroeste

Cerramiento en contacto con el terreno W/m <sup>2</sup> K		Suelos W/m <sup>2</sup> K		Cubiertas W/m <sup>2</sup> K		Lucernarios	
U <sub>tm</sub>	U <sub>hm</sub>	U <sub>sm</sub>	U <sub>stm</sub>	U <sub>on</sub>	U <sub>cim</sub>	F <sub>lm</sub>	F <sub>lim</sub>
0,000	≤ 0,660	0,354	≤ 0,490	0,305	≤ 0,380	0,000	≤ 0,310

**Cumple**

Superficies	Muro		Huecos		Total		% Huecos
	Superficie	U <sub>hm</sub>	Superficie	U <sub>hm</sub>	Superficie	U <sub>hm</sub>	
Norte	428,30 m <sup>2</sup>	0,308	77,50 m <sup>2</sup>	1,600	505,80 m <sup>2</sup>	15,32%	Cumple
Este	69,71 m <sup>2</sup>	0,299	6,29 m <sup>2</sup>	1,600	76,00 m <sup>2</sup>	8,28%	
Sureste	0,00 m <sup>2</sup>	0,000	0,00 m <sup>2</sup>	0,000	0,00 m <sup>2</sup>	0,00%	
Sur	420,80 m <sup>2</sup>	0,309	77,08 m <sup>2</sup>	1,600	497,88 m <sup>2</sup>	15,46%	
Suroeste	0,00 m <sup>2</sup>	0,000	0,00 m <sup>2</sup>	0,000	0,00 m <sup>2</sup>	0,00%	
Oeste	69,71 m <sup>2</sup>	0,299	6,29 m <sup>2</sup>	1,600	76,00 m <sup>2</sup>	8,28%	
Cubierta	395,71 m <sup>2</sup>	0,000	0,00 m <sup>2</sup>	0,000	395,71 m <sup>2</sup>	0,00%	

Se puede aplicar el Método Simplificado

## 12.5. ZONA CLIMÁTICA E – SORIA

Representa a todas las provincias englobadas dentro de la zona climática E (Soria, Burgos, León y Ávila).



Ilustración 61 - Provincias de zona climática E según CTE2019

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE12**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55	0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	12	0,0375	3,2
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667	0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432	0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,91
			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,256
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,370
				CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55	0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375	1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667	0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432	0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,590
				CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1	0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07	0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	2	0	0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	10	0,0375	2,666666667
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23	0,004347826
Fojados unidireccion	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,54
			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,282
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,330
				CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>					
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)	<b>U<sub>H,p</sub></b>	1		
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras	<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2		
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio	<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,4		
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03	<b>P<sub>100</sub></b>	9		
% sup. marco	25,00%	<b>α</b>	0,75	CUMPLE	
% sup. vidrio	75,00%	<b>g<sub>L</sub></b>	0,75		
% sup. cajón de persiana	0,00%				
<b>U<sub>H</sub> 2020:</b>	1,76	<b>Máxima U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	1,8	CUMPLE	
<b>U<sub>H</sub> CTE2013:</b>	1,60				
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%		

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0,57-U0,35</b>					
<b>Superficie</b>	388 m <sup>2</sup>	<b>B'</b>	7,92		
<b>Perímetro</b>	98 m				
<b>Grosor Aislamiento:</b>	10 cm				
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m				
U <sub>s1</sub> Primer metro de la losa	0,550	<b>Máxima U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,55	CUMPLE	
U <sub>s1</sub> Resto de la losa	0,352	<b>Máxima U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,55	CUMPLE	

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE12	<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>	<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>	<b>U<sub>ue</sub></b>	0,26 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies A <sub>ui</sub> /A <sub>ue</sub>	0,494897959	<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>	<b>H<sub>ue</sub></b>	728,00
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>	<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
		<b>b</b>	0,56

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>					
Familia de material	Material	espesor cm	λ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036363636
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375		1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
			<b>Rtotal (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32	
<b>Coef.b reducción</b> 0,56			<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,243	
			<b>Máxima U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,700	
					CUMPLE

**Forjado NH P5** Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,32
Coef.b reducción	0,67			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,29
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,7
<b>CUMPLE</b>					

**Forjado P2,P3,P4:** Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53** Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,29
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,77
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1
<b>CUMPLE</b>					

**Partición interior con zonas comunes**

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
Coef.b reducción	0,59			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,48
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,7
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				R <sub>total</sub> (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1
					<b>CUMPLE</b>

**FICHA JUSTIFICATIVA CTE 2020 Nuevos**

Ubicación:	Soria
Normativa:	CTE20
Tipo edificio:	Residenciales
Tipo de intervención:	Nuevos
Zona Climática:	E
Envolvente:	Envolvente 3
Volumen (m³):	6596m3
Sup.ext. Total (m²):	2516,91m2
Carga Interna:	Baja

RVI

 Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida  
 Soria, Ávila, Burgos, León

CTE2020	
Zona climática de invierno	E
Zona climática de verano	1

MUROS (UMm) y (UTm)						
TIPOS			A m²	U W/m²K	A-U WPK	Resultados
N	en contacto con el aire	SATE12	287,42	0,256	73,44	ΣA 428,30 m² ΣA-U 123,74 WPK U <sub>lim</sub> = ΣA-U / ΣA 0,28 W/m²K
		SATE12	70,44	0,256	18,00	
		SATE12	70,44	0,256	18,00	
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares		14,30		
	pilares en fachada			0,00		
	cajas de persiana			0,00		
E	en contacto con el aire	SATE12	69,71	0,256	17,81	ΣA 69,71 m² ΣA-U 19,57 WPK U <sub>lim</sub> = ΣA-U / ΣA 0,28 W/m²K
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares		1,75		
	pilares en fachada			0,00		
	cajas de persiana			0,00		
O	en contacto con el aire	SATE12	69,71	0,256	17,81	ΣA 69,71 m² ΣA-U 19,57 WPK U <sub>lim</sub> = ΣA-U / ΣA 0,28 W/m²K
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares		1,75		
	pilares en fachada			0,00		
	cajas de persiana			0,00		
S	en contacto con el aire	SATE12	279,92	0,256	71,52	ΣA 420,80 m² ΣA-U 122,25 WPK U <sub>lim</sub> = ΣA-U / ΣA 0,29 W/m²K
		SATE12	70,44	0,256	18,00	
		SATE12	70,44	0,256	18,00	
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
Puentes Térmicos	contorno de huecos	Definidos por jambas, dinteles y alfeizares		14,73		
	pilares en fachada			0,00		
	cajas de persiana			0,00		
SE	en contacto con el aire			0,000	0,00	ΣA 0,00 m² ΣA-U 0,00 WPK U <sub>lim</sub> = ΣA-U / ΣA 0,00 W/m²K
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
Puentes Térmicos	contorno de huecos			0,00		
	pilares en fachada			0,00		
	cajas de persiana			0,00		
SO	en contacto con el aire			0,000	0,00	ΣA 0,00 m² ΣA-U 0,00 WPK U <sub>lim</sub> = ΣA-U / ΣA 0,00 W/m²K
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
Puentes Térmicos	contorno de huecos			0,00		
	pilares en fachada			0,00		
	cajas de persiana			0,00		
C-TER	muros en contacto con el terreno			0,000	0,00	ΣA 0,00 m² ΣA-U 0,00 WPK U <sub>lim</sub> = ΣA-U / ΣA 0,00 W/m²K
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	cubiertas enterradas			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
soleras o losas a una profundidad superior a 0.5 m			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
SUELOS (USm)						
TIPOS			A m²	U W/m²K	A-U WPK	Resultados
SUELOS	apoyados sobre el terreno z < 0.5 m	U0,57-U0,35	388,00	0,352	136,43	ΣA 388,00 m² ΣA-U 136,43 WPK U <sub>lim</sub> = ΣA-U / ΣA 0,35 W/m²K
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
Fojados sanitarios			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
en contacto con el aire exterior			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
CUBIERTAS Y LUCERNARIOS (UCm) Y (UH)						
CUBIERTAS Y LUCERNARIOS	en contacto con el aire exterior	CubU=0,28	395,71	0,282	111,65	ΣA 395,71 m² ΣA-U 111,65 WPK U <sub>lim</sub> = ΣA-U / ΣA 0,28 W/m²K
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
	en contacto con espacios no habitables			0,000	0,00	
				0,000	0,00	
				0,000	0,00	
lucernarios			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
puente térmico			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
contorno de lucernarios			0,000	0,00		
			0,000	0,00		
			0,000	0,00		



LUCERNARIOS (F <sub>lm</sub> )						
TIPOS	A m <sup>2</sup>	F	A·F m <sup>2</sup>	Resultados		
lucernarios				ΣA 0,00 m <sup>2</sup>	ΣA·F 0,00 Wm <sup>2</sup> K	F <sub>lm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00 Wm <sup>2</sup> K
HUECOS (U <sub>hm</sub> ) y (F <sub>hm</sub> )						
TIPOS	A m <sup>2</sup>	U Wm <sup>2</sup> K	F	A·U Wm <sup>2</sup> K	A·F m <sup>2</sup>	Resultados
N	PVCe1.60 4-20-4	28,00	1,600	44,800		
	PVCe1.60 4-20-4	21,00	1,600	33,600		
	PVCe1.60 4-20-4	10,08	1,600	16,128		ΣA 77,50 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	10,50	1,600	16,800		ΣA·U 124,00 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	7,92	1,600	12,672		U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 1,60 Wm <sup>2</sup> K
E	PVCe1.60 4-20-4	4,40	1,600	7,040	2,38	ΣA 6,29 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	1,89	1,600	3,024	1,02	ΣA·U 10,06 m <sup>2</sup>
			0,000	0,000	0,00	ΣA·F 3,41 m <sup>2</sup>
			0,000	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 1,60 Wm <sup>2</sup> K
			0,000	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
O	PVCe1.60 4-20-4	4,40	1,600	7,040	2,38	ΣA 6,29 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	1,89	1,600	3,024	1,02	ΣA·U 10,06 m <sup>2</sup>
			0,000	0,000	0,00	ΣA·F 3,41 m <sup>2</sup>
			0,000	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 1,60 Wm <sup>2</sup> K
			0,000	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
S	PVCe1.60 4-20-4	28,00	1,600	44,800	15,16	ΣA 77,00 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	21,00	1,600	33,600	11,37	ΣA·U 123,33 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	10,08	1,600	16,128	5,46	ΣA·F 41,74 m <sup>2</sup>
	PVCe1.60 4-20-4	6,00	1,600	9,600	3,25	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 1,60 Wm <sup>2</sup> K
	PVCe1.60 4-20-4	12,00	1,600	19,200	6,50	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,54
SE			0,000	0,000	0,00	ΣA 0,00 m <sup>2</sup>
			0,000	0,000	0,00	ΣA·U 0,00 m <sup>2</sup>
			0,000	0,000	0,00	ΣA·F 0,00 m <sup>2</sup>
			0,000	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 0,00 Wm <sup>2</sup> K
			0,000	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00
SO			0,000	0,000	0,00	ΣA 0,00 m <sup>2</sup>
			0,000	0,000	0,00	ΣA·U 0,00 m <sup>2</sup>
			0,000	0,000	0,00	ΣA·F 0,00 m <sup>2</sup>
			0,000	0,000	0,00	U <sub>hm</sub> = ΣA·U / ΣA 0,00 Wm <sup>2</sup> K
			0,000	0,000	0,00	F <sub>hm</sub> = ΣA·F / ΣA 0,00

Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica. Valores máximos totales	Cumple	U <sub>max</sub> (proyecto)	U <sub>max</sub> (08 HE-1)
Muros de fachada		0,250	0,370
Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno		0,332	
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables		0,600	0,300
Suelos		0,232	
Cubiertas		0,282	0,350
Vidrios de huecos y lucernarios		1,600	1,600
Marcos de huecos y lucernarios		1,600	
Medianerías SATE06		0,232	0,300
Particiones interiores con espacios no habitables F-Cub 0,28	0,59	0,171	0,700
Particiones interiores Partit U=0,88	0,59	0,162	1,200

Muros, Huecos y Lucernarios. Valores medios por fachadas							
Orientación	Muros de Fachada Wm <sup>2</sup> K		Huecos Wm <sup>2</sup> K				Orientación
Norte	U <sub>hm</sub>	U <sub>lm</sub>	U <sub>hm</sub>	%Huecos	F <sub>hm</sub>	F <sub>lm</sub>	Norte
Este	0,289	0,570	1,600	13,32%	0,542	-	Este
Oeste	0,281		1,600	8,28%	0,542	-	Oeste
Sur	0,291		1,600	15,48%	0,542	-	Sur
Sureste	0,000		0,000	0,00%	0,000	0,000	Sureste
Suroeste	0,000		0,000	0,00%	0,000	0,000	Suroeste
	0,000			0,000	0,00%	0,000	

Cerramiento en contacto con el terreno Wm <sup>2</sup> K		Suelos Wm <sup>2</sup> K		Cubiertas Wm <sup>2</sup> K		Lucernarios	
U <sub>tm</sub>	U <sub>lm</sub>	U <sub>sm</sub>	U <sub>slm</sub>	U <sub>cm</sub>	U <sub>clm</sub>	F <sub>lm</sub>	F <sub>llm</sub>
0,000	0,570	0,352	0,480	0,282	0,350	0,000	0,360

**Cumple**

	Superficies				Cumple
	Muro	Huecos	Total	% Huecos	
Norte	428,30 m <sup>2</sup>	77,50 m <sup>2</sup>	505,80 m <sup>2</sup>	15,32%	Cumple
Este	69,71 m <sup>2</sup>	6,29 m <sup>2</sup>	76,00 m <sup>2</sup>	8,28%	
Sureste	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00%	
Sur	420,80 m <sup>2</sup>	77,08 m <sup>2</sup>	497,88 m <sup>2</sup>	15,48%	
Suroeste	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	0,00%	
Oeste	69,71 m <sup>2</sup>	6,29 m <sup>2</sup>	76,00 m <sup>2</sup>	8,28%	

	Superficies			Cumple
	Cubierta	Lucernarios	Total	
Cubierta	395,71 m <sup>2</sup>	0,00 m <sup>2</sup>	395,71 m <sup>2</sup>	0,00%

Se puede aplicar el Método Simplificado

## 13. SIMULACIÓN ENERGÉTICA

Los estudios y cálculos de conductividad térmica de las probetas de mortero dopado con hueso de oliva han brindado información para llevar a cabo esta detallada simulación energética. El objetivo era comparar la eficiencia energética entre los ladrillos de mortero convencionales y los dopados con hueso de oliva en un edificio de construcción real.

Para ello, se utiliza un enfoque basado en datos climáticos específicos de 5 localidades (5 zonas climáticas según CTE de España [10]) y se establecen supuestos realistas sobre el uso y el consumo de energía en un edificio típico.

Con estos parámetros, se realiza una simulación mediante un software oficial (Herramienta Unificada Líder Calener HULC) que permita evaluar el desempeño energético de ambas opciones de construcción.

Al evaluar los resultados obtenidos en la simulación, se lleva a cabo una comparativa de los consumos energéticos de los edificios construidos con ladrillos de mortero convencionales y los que incorporan ladrillos de mortero dopado con hueso de oliva.

El objetivo es identificar las diferencias en eficiencia energética y determinar si el uso de los ladrillos dopados representa una mejora significativa en términos de ahorro y sostenibilidad.

Se analiza, por tanto, cómo esta variante de mortero impacta en la transmisión de calor y, por lo tanto, en los requerimientos energéticos para mantener una temperatura confortable en el interior de los inmuebles.

Este enfoque en la eficiencia energética y sostenibilidad de materiales de construcción es una parte esencial de las actuales directivas en eficiencia energética promovidas por la Unión Europea.

Las 5 ubicaciones utilizadas para la simulación energética con vinculación a las 5 zonas climáticas del Código Técnico de la Edificación son:

- Zona A: Almería
- Zona B: Sevilla
- Zona C: Barcelona
- Zona D: Logroño
- Zona E: Soria

Para las simulaciones energéticas de cálculo de la demanda de energía del edificio se utilizó la versión de la Herramienta Unificada LIDER – CALENER (HULC) 1.0.1564.1124 (fecha de actualización 03 de marzo de 2017).

La caracterización de todos los modelos iniciales se realiza según las características constructivas expuestas en el capítulo anterior.

Se presentan dos tablas para cada una de las cinco localizaciones elegidas.

En la primera se desglosan los resultados de demanda de energía, consumo de energía final, consumo de energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub> (datos directos extraídos de la simulación energética) tanto para calefacción como refrigeración.

Excepto el dato de la demanda de energía, el resto no son trascendentes para la investigación ya que para el cálculo del consumo utilizan instalaciones que no se valoran posteriormente como son una caldera de gas de rendimiento nominal 92% para calefacción y una bomba de calor para refrigeración con rendimiento medio estacional (SEER) 300%.

En las columnas se muestran las distintas posibilidades de mortero:

- Ladrillo de mortero macizo sin dopar con conductividad  $\lambda=1,714$
- Ladrillo de mortero perforado sin dopar por defecto HULC con conductividad  $\lambda=1,09$
- Ladrillo de mortero perforado sin dopar extraído de ensayos con conductividad  $\lambda=0,804$
- Ladrillo de mortero perforado dopado al 5% según conductividad de ensayos con conductividad  $\lambda=0,676$
- Ladrillo de mortero perforado dopado al 10% según conductividad de ensayos con conductividad  $\lambda=0,603$
- Ladrillo de mortero perforado dopado al 15% según conductividad de ensayos con conductividad  $\lambda=0,551$
- Ladrillo de mortero perforado dopado al 20% según conductividad de ensayos con conductividad  $\lambda=0,510$
- Ladrillo de mortero perforado dopado al 25% según conductividad de ensayos con conductividad  $\lambda=0,477$
- Ladrillo de mortero perforado dopado al 30% según conductividad de ensayos con conductividad  $\lambda=0,449$

Debajo se muestran los ahorros energéticos anuales en kWh/año tanto en demanda de energía de calefacción, de refrigeración y conjunta de los ladrillos dopados en un determinado porcentaje en relación con el ladrillo de mortero perforado sin dopar por defecto HULC con conductividad  $\lambda=1,09$ .

En cuanto a la segunda tabla, es la que relaciona los ahorros energéticos en kWh/año obtenidos en la tabla anterior con el periodo de tiempo en el que se recuperaría la energía necesaria en caso de que la cantidad de hueso de oliva que se incorpora al mortero se utilizase para combustión y generación de calefacción en una caldera de biomasa con un rendimiento medio estacional del 75%.

Para realizar este cálculo en primer lugar se obtiene el número de kg. de hueso de oliva que se tienen que utilizar para cada tipo de dopado y la cantidad total de m<sup>2</sup> de fachada que existe. Para calcular la cantidad de hueso de oliva por m<sup>2</sup> de fachada se utilizan las proporciones de masa utilizadas en su fabricación, así como la cantidad de volumen de aire que implican los agujeros del ladrillo perforado. De tal forma se obtienen los siguientes resultados:

CEMENTO	Arena	Cemento	Agua	Huesillo	Total	% en masa
M-0	40 kg	8 kg	7 kg	0 kg	54,5 kg	0,00%
M-5	38 kg	8 kg	7 kg	0,71 kg	53,21 kg	1,33%
M-10	36 kg	8 kg	6 kg	1,42 kg	51,42 kg	2,76%
M-15	34 kg	8 kg	6 kg	2,1 kg	50,1 kg	4,19%
M-20	32 kg	8 kg	6 kg	2,83 kg	48,83 kg	5,80%
M-25	30 kg	8 kg	6 kg	3,54 kg	47,54 kg	7,45%
M-30	28 kg	8 kg	6 kg	4,3 kg	45,8 kg	9,39%

Tabla 55 - Composición de los morteros dopados

Tipo de dopado	kg Hueso/m <sup>3</sup> mortero macizo	kg Hueso/m <sup>3</sup> mortero perforado	kg Hueso por m <sup>2</sup> de fachada maciza (3cm)	kg Hueso por m <sup>2</sup> de fachada perforada (23cm)	TOTAL kg Hueso Oliva por m <sup>2</sup> de fachada	Energía en combustión por m <sup>2</sup> de fachada (PCI=4,489 kWh/kg)
M-0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 KWH/m <sup>2</sup>
M-5	26,98	0,00	0,81	3,46	4,27	19,16 KWH/m <sup>2</sup>
M-10	54,63	0,00	1,64	7,01	8,65	38,82 KWH/m <sup>2</sup>
M-15	80,41	0,00	2,41	10,31	12,72	57,11 KWH/m <sup>2</sup>
M-20	107,50	0,00	3,22	13,79	17,01	76,38 KWH/m <sup>2</sup>
M-25	134,28	0,00	4,03	17,22	21,25	95,38 KWH/m <sup>2</sup>
M-30	168,64	0,00	5,06	21,63	26,69	119,81 KWH/m <sup>2</sup>

Tabla 56 - Cantidad de kg de hueso de oliva por m<sup>2</sup> de fachada maciza (3cm) y fachada perforada (23cm)

Posteriormente se calcula la energía que se podría obtener por combustión en una caldera de biomasa si se quemase esa cantidad de hueso de oliva con un rendimiento del 75% utilizando el valor de 4,489 kWh/kg de PCI que proporciona el IDAE [3].

Por último, se calculan los años necesarios para conseguir ahorrar todos los kWh obtenidos por combustión en el caso de dopar los ladrillos de mortero por mejora de la envolvente tanto para la demanda de calefacción, la de refrigeración y la conjunta.

Los resultados obtenidos de esta simulación se exponen en el capítulo Resultados.



**10**

---

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN  
DE LA SOSTENIBILIDAD  
ECONÓMICA DEL DOPADO DE  
TRITURADO DE HUESO DE OLIVA  
EN LADRILLOS DE MORTERO PARA  
CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS**

## 1. SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA, AMBIENTAL Y SOCIAL DE LA UTILIZACIÓN DE LADRILLOS GERO DOPADOS CON TRITURADO DE HUESO DE OLIVA

Llegados a este punto y una vez realizada la simulación energética que permite constatar el potencial ahorro energético a largo plazo de dopar ladrillos GERO de mortero con triturado de hueso de oliva (aplicables a la construcción de una fachada en una nueva edificación) se procede a completar la investigación mediante el análisis de la evaluación de la sostenibilidad económica, ambiental y social con el objetivo de comprobar si puede ser factible aplicarlo a este residuo como método alternativo a la combustión tradicional del residuo en calderas de biomasa.

Para esta investigación se procederá a utilizar los valores medios de ahorro obtenidos en la simulación energética, abandonando ya la caracterización por zonas climáticas que se ha desarrollado hasta este momento.

En cuanto a la viabilidad económica, se valora como potencial ahorro económico la reducción de consumo energético a largo plazo que supone la utilización en tiempo presente de los ladrillos de mortero dopado con triturado de hueso de oliva debido al previsible aumento futuro de los costes de las fuentes de energía habituales para climatización (electricidad, gas natural, biomasa).

La viabilidad ambiental se desarrolla mediante el análisis ciclo de vida de los impactos medioambientales que se producen al dopar unas alternativas de morteros con triturado de hueso de oliva ciclo de vida. Esta metodología se encuentra regida por la ISO 14040 e ISO 14044 [82]. Esta, a través de unos pasos intermedios permite evaluar los diversos impactos medioambientales que se producen para un producto o servicio.

Finalmente, se evalúa la viabilidad social, también mediante el desarrollo del análisis de ciclo de vida social (ACV-S) [83] considerando la generación de empleo local y el impacto en la calidad de vida de las personas involucradas en la recolección y procesamiento de los residuos de oliva.

## 2. ANÁLISIS DEL COSTE DE MORTERO DOPADO CON HUESO DE OLIVA

El triturado de hueso de oliva es un residuo con muchas posibilidades en la valorización energética local para la obtención de calor mediante su combustión.

Pero, en añadido y como se ha desarrollado en esta investigación, también se trata de un producto que puede utilizarse como dopado de mortero para reducir la conductividad térmica de este y permitir, de ese modo, reducir la demanda energética para calefacción y climatización por reducción de la transmitancia térmica de los edificios de nueva construcción.

En este sentido, hay que tener en cuenta que al incrementar el porcentaje de triturado de hueso de oliva también se produce un descenso en la resistencia a compresión que son capaces de soportar los diferentes morteros. Esta característica delimita su uso en construcción, ya que no es capaz de soportar grandes esfuerzos y por esta razón se realizan probetas térmicas con un porcentaje de huesillo de oliva máximo del 30%. [71]

De manera complementaria, también se ha podido evaluar que el añadido de cantidad superiores al 15% de triturado de hueso de oliva en peso total de mortero, aunque disminuye la conductividad térmica del ladrillo generado no es rentable puesto que la recuperación energética del residuo incorporado supera los 70 años en comparación con la energía que se podría obtener por la combustión del hueso (con un rendimiento útil del 75%), tratándose de un plazo de tiempo demasiado alto como vida útil de un edificio para tenerlo en cierta consideración.

Sin embargo, para dopados inferiores al 15% este plazo de tiempo sí que encontraba un equilibrio correcto entre la cantidad de hueso de oliva aportado y la reducción de la demanda, de modo que el plazo de tiempo de recuperación de la energía de combustión se establecía en función de las distintas zonas climáticas por el Código Técnico de la Edificación en España [50]:

- Entre 30 y 37 años para el dopado al 5% (valor medio 34 años).
- Entre 47 y 58 años para el dopado al 10% (valor medio de 53 años).
- Entre 59 y 72 años para el dopado al 15% (valor medio de 65 años).

Estos valores, aun siendo altos, se encuentran todavía dentro del periodo de vida útil de un edificio (75 años) por lo que se trata de una medida rentable desde el punto de vista energético.

Los porcentajes de mezclas para estos resultados son los siguientes:

- M-0: arena 100%
- M-5: arena 95% + huesillo 5%
- M-10: arena 90% + huesillo 10%
- M-15: arena 85% + huesillo 15%

La mezcla se define como la cantidad (0%,5%,10%,15%) de hueso de oliva que conforma cada uno de los morteros referente al volumen total de la mezcla.

Las proporciones de mezcla utilizadas se muestran en la siguiente tabla:

DOPADO	Arena (kg)	Cemento (kg)	Agua (kg)	Hueso de aceituna (kg)
M-0	40	8	6,5	0
M-5	38	8	6,5	0,71
M-10	36	8	6	1,42
M-15	34	8	6	2,1

Tabla 57 - Tipo y cantidad de material necesario para la fabricación de hormigón y morteros.

Con estas proporciones se confeccionan las distintas masas necesarias de arena y hueso de oliva (la tasa de ratio de agua/cemento se mantiene constante) para la elaboración de un m<sup>3</sup> de mortero, como se recogen en las siguientes tablas:

DOPADO	kg Hueso/m3 mortero macizo	kg hueso/m3 mortero perforado	kg Hueso por m2 de fachada maciza	kg Hueso por m2 de fachada perforada	TOTAL kg hueso en en m2 de fachada
M-0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M-5	26,98	15,04	0,81	3,46	4,27
M-10	54,63	30,46	1,64	7,01	8,65
M-15	80,41	44,84	2,41	10,31	12,73

Tabla 58 - Composición en kg de hueso de oliva por m2 de fachada de 26cm de mortero

DOPADO	kg Arena/m3 mortero macizo	kg Arena/m3 mortero perforado	kg Arena por m2 de fachada maciza	kg Arena por m2 de fachada perforada	TOTAL kg Arena en en m2 de fachada	% en masa de arena
M-0	1526,91	851,51	45,81	195,85	241,66	73,39%
M-5	1443,78	805,15	43,31	185,18	228,50	71,42%
M-10	1384,92	772,33	41,55	177,64	219,18	70,01%
M-15	1301,87	726,01	39,06	166,98	206,04	67,86%

Ilustración 62 - Composición en kg de arena por m2 de fachada de 26cm de mortero. Cálculo del % en masa de arena.

DOPADO	% por masa de arena	kg arena/m3 mortero macizo	% de masa de hueso de aceituna	kg hueso/m3 de mortero sólido	Reducción de kg de arena por m3 de mortero	Total kg Arena en m2 de fachada	Total kg hueso en m2 de fachada	Total kg arena menos en m2 de fachada
M-0	73,39%	<b>1526,91</b>	0,00%	<b>0,00</b>	0,00	241,66	0,00	0,00
M-5	71,42%	<b>1443,78</b>	1,33%	<b>26,98</b>	-83,14	228,50	4,27	-13,16
M-10	70,01%	<b>1384,92</b>	2,76%	<b>54,63</b>	-141,99	219,18	8,65	-22,47
M-15	67,86%	<b>1301,87</b>	4,19%	<b>80,41</b>	-225,05	206,04	12,73	-35,62

Tabla 59 - Cantidad de arena y hueso de oliva necesaria para la elaboración de 1m3 de mortero sin dopar y dopado al 0%, 5%, 10% y 15%.

A nivel económico esta sustitución de materiales tiene su repercusión en precios ya que habitualmente el precio de la arena es inferior al del residuo de triturado de hueso de oliva.

Para los cálculos se utiliza un precio medio de la arena de 12€/tn (precio medio de suministro en cementeras) y de 167€/tn para el triturado de hueso de oliva (precio medio AveBiom 2021 [50] y el Informe de precios de la biomasa para usos térmicos del IDAE [84]).

Los valores se recogen en la siguiente tabla.

DOPADO	kg hueso/m <sup>3</sup> mortero	Precio medio del kg. de hueso (€/kg) 2021	Incremento de precio del m <sup>3</sup> de mortero por hueso	Reducción de kgs de arena por m <sup>3</sup> de mortero	Precio medio del kg de arena (€/kg) 2021	Reducción del precio m <sup>3</sup> mortero de arena	TOTAL Incremento de precio m <sup>3</sup> mortero dopado (€/m <sup>3</sup> )
M-0	0,00	0,167 €	0,00	0,00	0,012	0,00 €	0,00 €
M-5	26,98	0,167 €	4,50	-83,14	0,012	-1,00 €	3,50 €
M-10	54,63	0,167 €	9,11	-141,99	0,012	-1,70 €	7,41 €
M-15	80,41	0,167 €	13,42	-225,05	0,012	-2,70 €	10,72 €

Tabla 60 - Aumento de precio por m<sup>3</sup> de mortero dopado con respecto al mortero sin dopar.

Con estos datos, el m<sup>3</sup> de mortero dopado al 5% es 3,50€ más caro que el mortero sin dopar con arena tradicional. Y este valor aumenta hasta 7,41€/ m<sup>3</sup> para el M-10 y 10,72€/m<sup>3</sup> para el M-15.

Hay que tener en cuenta que el m<sup>3</sup> de mortero de arena convencional se sitúa de media en torno a 60-70€/m<sup>2</sup>.

Para que la fabricación de ladrillos GERO dopados con triturado pueda ser viable económicamente este incremento de coste de fabricación inicial con respecto al confeccionado solo con arena se debe compensar con el ahorro energético anual que genera y la tasa anual de incremento de precios de los combustibles.

Es, por tanto, esta última, la principal ventaja potencial ya que al disponer del ladrillo en tiempo presente cualquier ahorro energético futuro repercute en un ahorro económico derivado del incremento de los precios de las fuentes de energía.

En los siguientes puntos se analiza la viabilidad económica, ambiental y el ciclo de vida social para la posibilidad de utilizar este mortero dopado como material base para la fabricación de ladrillo perforados, también denominados ladrillos GERO, que son aquellos que tienen su masa agujereada con perforaciones circulares (o en rombo) que suponen entre el 25% y el 50% del volumen total de la pieza (en el caso del estudio se utilizan ladrillos con un 45% de volumen agujereado).



Ilustración 63 - Ejemplo de ladrillo GERO perforado.

### 3. SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA DEL DOPADO DE LADRILLOS GERO DE MORTERO CON TRITURADO DE HUESO DE OLIVA PARA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS

En la investigación llevada a cabo se propone la sustitución de dos hojas de ladrillo GERO de mortero perforado convencional de 11.5cm de espesor de la fachada (23cm en total) por otro ladrillo de iguales características, pero con un porcentaje de añadido de dopaje de triturado de hueso de oliva (entre el 5% y el 15%) en sustitución de la arena habitual.

Asimismo, también se sustituye una capa de mortero de revestimiento exterior de 3cm sin dopar por otra con los mismos porcentajes de dopaje.

Se plantea un edificio de nueva construcción basado en una tipología edificatoria de RESIDENCIAL EN BLOQUE reconocida en el modelo 6.2 del documento de "Calificación energética de edificios existentes del IDAE – Instituto para la diversificación y ahorro de energía de España" [73] con una fachada exterior de 988,50m<sup>2</sup> que cumple con las exigencias actuales de construcción del Código Técnico de la Edificación en España [10] en cuanto a la limitación de la demanda de energía conjunta de calefacción y refrigeración (climatización en general).

En total, por tanto, se sustituyen 26cm de fachada de componentes de mortero (23cm perforados y 3cm macizos) por otra de espesor equivalente, pero con dopado de hueso de oliva.

El objetivo es calcular la reducción de demanda energética conjunta de calefacción y refrigeración (kWh/m<sup>2</sup>·año).

Se simplifica, en este punto, el cálculo por zonas climáticas y se obtiene el valor medio de las 5 zonas estudiadas, ya que la extrapolación de datos se basa en una previsión futura por lo que no tiene sentido realizar el cálculo de manera tan pormenorizada.

### 3.1. AHORRO ENERGÉTICO EN LA DEMANDA DE ENERGÍA PARA CLIMATIZACIÓN (KWH) POR M<sup>2</sup> DE FACHADA Y AÑO

Los resultados medios obtenidos de ahorro energético por m<sup>2</sup> de fachada derivado de las múltiples simulaciones energéticas en las diferentes zonas climáticas existentes en España se muestran en la siguiente tabla.

	Mortero dopado 5% M-5	Mortero dopado 10% M-10	Mortero dopado 15% M-15
Valores medios de ahorro de energía por m <sup>2</sup> de fachada	0,430	0,554	0,658

Tabla 61 - Ahorro energético medio por m<sup>2</sup> de fachada por incorporación de dopado de hueso de oliva.

Estos valores son de ahorro de energía útil (la que realmente necesita el edificio para mantener las condiciones de confort interior) ya que es inferior energía demandada por el edificio de referencia por m<sup>2</sup> de fachada.

Sin embargo, esta energía no es la que se debe tener en cuenta para el análisis económico ya que su generación en un edificio de viviendas se realiza con máquinas térmicas que tienen un determinado rendimiento energético y, por tanto, unas pérdidas que se deben cuantificar.

## 3.2. AHORRO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA FINAL EN CLIMATIZACIÓN (KWH) POR M<sup>2</sup> DE FACHADA Y AÑO

La demanda de energía para climatización es la cantidad de energía que requiere un edificio para mantener unas determinadas condiciones de confort en su interior: calefacción en invierno y refrigeración en verano.

Esta energía se debe obtener mediante instalaciones térmicas que sean capaces de transformar en calor y frío el poder calorífico de algún tipo de fuente de energía.

El Código Técnico de la Edificación [10] del año 2019 es bastante exigente en cuanto a las exigencias de limitación de consumo de energía del edificio y no permite que estas instalaciones tengan un rendimiento bajo.

Teniendo en cuenta que las máquinas térmicas que aportan esta energía útil final demandada en el edificio para calefacción y refrigeración tienen un cierto rendimiento, se calcula la energía final ahorrada por el consumidor final por m<sup>2</sup> de fachada, planteando rendimientos medios estacionales habituales en 3 tipos de instalaciones habituales para las máquinas térmicas:

- 300% en aerotermia
- 100% en calderas de gas de condensación
- 75% en calderas de biomasa

### 3.2.1. AEROTERMIA

Una máquina de aerotermia es un sistema de climatización que utiliza el aire como fuente de energía para la calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria en un edificio.

Funciona aprovechando la energía térmica presente en el aire exterior, incluso a temperaturas bajas, mediante un proceso de intercambio de calor.

La aerotermia utiliza una bomba de calor para realizar este intercambio de calor. La bomba de calor extrae calor del aire exterior en el modo de calefacción y lo transfiere al interior del edificio. En el modo de refrigeración, el proceso se invierte, extrayendo el calor del interior y liberándolo al exterior.

Además, también puede utilizarse para la producción de agua caliente sanitaria.

Los rendimientos de las máquinas de aerotermia suelen medirse mediante el coeficiente de rendimiento estacional SCOP (calor) y SEER (frío). Es la relación entre la energía térmica útil generada por la máquina y la energía eléctrica consumida.

Un SCOP de 3 o 300%, por ejemplo, significa que, por cada unidad de energía eléctrica consumida, la máquina produce tres unidades de energía térmica.

Los rendimientos de las máquinas de aerotermia pueden variar según diversos factores, como las condiciones climáticas, la temperatura ambiente, la eficiencia del sistema y la calidad de la instalación.

En general, las máquinas de aerotermia tienden a ser más eficientes en términos energéticos en comparación con sistemas de calefacción convencionales, ya que aprovechan una fuente de energía renovable y gratuita, como el aire ambiente, por lo que las hace un sistema bastante habitual en construcción de edificios.

### 3.2.2. CALDERAS DE CONDENSACIÓN DE GAS NATURAL

Otra alternativa es la utilización de calderas de gas natural.

Las calderas de condensación de gas son un tipo de caldera de calefacción que aprovecha el vapor de agua contenido en los gases de combustión para extraer energía adicional.

Estas calderas son más eficientes que las calderas convencionales porque recuperan el calor latente del vapor de agua y lo utilizan para calentar el agua del sistema de calefacción. A diferencia de las calderas tradicionales, que expulsan estos gases de combustión a la atmósfera, las calderas de condensación permiten que estos gases se enfríen lo suficiente como para que el vapor de agua condense, su rendimiento puede ser superior al 100% ya que se referencia al poder calorífico inferior seco del gas, mientras que como se ha dicho estas calderas pueden aprovechar la condensación del vapor de agua que libera una cantidad significativa de energía adicional, lo que resulta en un mayor rendimiento en comparación con las calderas no condensantes.

Además, al recuperar más calor de los gases de combustión, las calderas de condensación también reducen las emisiones de dióxido de carbono y otros contaminantes en comparación con las calderas tradicionales.

En cuanto al rendimiento, las calderas de condensación de gas suelen tener coeficientes de rendimiento (COP) superiores en comparación con las calderas convencionales cuya instalación está en desuso e incluso prohibidas.

Pueden alcanzar COPs superiores a 1 (100%), es decir, por cada unidad de energía eléctrica consumida, se generan más de una unidad de energía térmica.

La eficiencia exacta puede variar según el modelo, la marca y las condiciones de operación, pero en general, se considera que las calderas de condensación son más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

### 3.2.3. CALDERAS DE BIOMASA

Por último, se plantea una tercera alternativa de instalación para calefacción como es la caldera de combustión de biomasa.

Es la alternativa más obvia, teniendo en cuenta que se pretende comparar la potencial mejora de prestaciones al sustituir este combustible por un dopado de mortero en el ladrillo.

Las calderas de biomasa que utilizan hueso de oliva pertenecen a la categoría de calderas de biomasa, que utilizan materiales orgánicos renovables como fuente de energía.

Se consideran de emisiones nulas de carbono ya que se presupone que el dióxido de carbono liberado durante la combustión es aproximadamente igual al que se absorbió durante el crecimiento de la biomasa.

El rendimiento específico de una caldera de biomasa de hueso de oliva puede variar según el diseño del equipo, la calidad del combustible utilizado y las condiciones de operación. En general, las calderas de biomasa tienen la capacidad de ofrecer rendimientos eficientes, especialmente cuando se diseñan para aprovechar al máximo el potencial térmico del combustible, aunque en raras ocasiones superan actualmente el 80%.

### 3.2.4. RESULTADOS DE AHORRO EN CONSUMO DE ENERGÍA FINAL EN CLIMATIZACIÓN (kWh) POR M<sup>2</sup> DE FACHADA Y AÑO

Para realizar los cálculos se divide el ahorro en la demanda de energía entre el rendimiento medio estacional de la instalación.

Los resultados de los ahorros energéticos en consumo de energía final (la que paga el usuario) se muestran en la siguiente tabla:

			Energía útil reducida por m <sup>2</sup> de fachada (kWh/m <sup>2</sup> )		
			Mortero Dopado 5%	Mortero dopado 10%	Mortero dopado 15%
			0,430	0,554	0,658
Fuente de energía	Sistema de climatización	Rendimiento medio estacional	Energía final reducida por m <sup>2</sup> de fachada (kWh/m <sup>2</sup> )		
Electricidad	Aerotermia	300%	0,143	0,185	0,219
Gas Natural	Caldera de condensación	100%	0,430	0,554	0,658
Hueso de aceituna	Caldera de	75%	0,573	0,739	0,877

*Tabla 62 - Ahorro energético por m<sup>2</sup> de fachada y año en función del sistema de climatización y su coeficiente estacionario*

La principal ventaja de es estos ahorros de energía final es que se producen a lo largo de toda la vida útil del edificio de forma que cada año se producirá un ahorro económico equivalente a la energía ahorrada por el precio medio de la fuente de energía que paga el consumidor final.

Por otro lado, teniendo en cuenta que los datos están vinculados a una fachada de 26cm de espesor se calcula el incremento de coste por m<sup>2</sup> de fachada con dos hojas de ladrillo GERO perforado (11,5cm cada una) y una capa de mortero exterior de 3cm obteniendo los resultados expuestos en la siguiente tabla.

cm de fachada -->		3	23	
Incremento en €/m <sup>3</sup> macizo	Incremento €/m <sup>3</sup> perforado	Incremento por €/m <sup>2</sup> de fachada macizo*	Incremento en €/m <sup>2</sup> de fachada perforado**	Total incremento €/m <sup>2</sup> de fachada
0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
3,50 €	1,95 €	0,11 €	0,45 €	0,55 €
7,41 €	4,13 €	0,22 €	0,95 €	1,17 €
10,72 €	5,98 €	0,32 €	1,37 €	1,70 €

% agujeros en ladrillo macizo GERO

Tabla 63 - Promediado de incremento de costes en fabricación de fachada de dos hojas de ladrillo GERO perforado (23cm) y capa en mortero exterior (3cm)

Estos valores son los que se tienen que recuperar para conseguir amortizar la inversión inicial.

Para ello se procede a realizar un análisis de rentabilidad económica basado en los indicadores financieros VAN y TIR, (Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno) que permiten analizar y cuantificar el posible retorno de inversión.

### 3.3. PRECIOS DE LAS FUENTES DE ENERGÍA

Como se ha comentado la simulación económica se establece con la comparación del aumento de coste del ladrillo dopado con triturado de hueso de oliva (“inversión inicial”) con respecto a los ahorros económicos en las facturas de suministros energéticos derivados de los ahorros energéticos ya planteados.

Estas tres instalaciones que se plantean son:

- Aerotermia con electricidad como fuente de energía
- Calderas de condensación con fuente de energía de gas natural
- Caldera de biomasa con fuente de energía triturado de hueso de oliva.

En este punto se debe tomar la decisión de definir los precios actuales y, algo más complicado, su evolución con el objetivo de intentar optimizar de la forma más precisa posible los resultados del análisis económico.

Para realizar esta aproximación se utiliza como fuente EUROSTAT en una publicación semestral que permite obtener los precios medios para España de varias fuentes de energía.

Estos son los datos obtenidos para las 3 fuentes de energía:

	2017	2018	2019	2020	2021	2022*
Electricidad	25,68 €	28,65 €	19,60 €	18,29 €	24,27 €	38,69 €
Gas Natural	10,38 €	9,19 €	9,98 €	9,12 €	10,31 €	10,44 €
Hueso de aceituna	3,60 €	3,68 €	3,63 €	3,62 €	3,72 €	6,57 €

\* Datos EUROSTAT para el primer semestre de 2022

Tabla 64 - Precio del kWh procedente de distintas fuentes de energía publicados por EUROSTAT

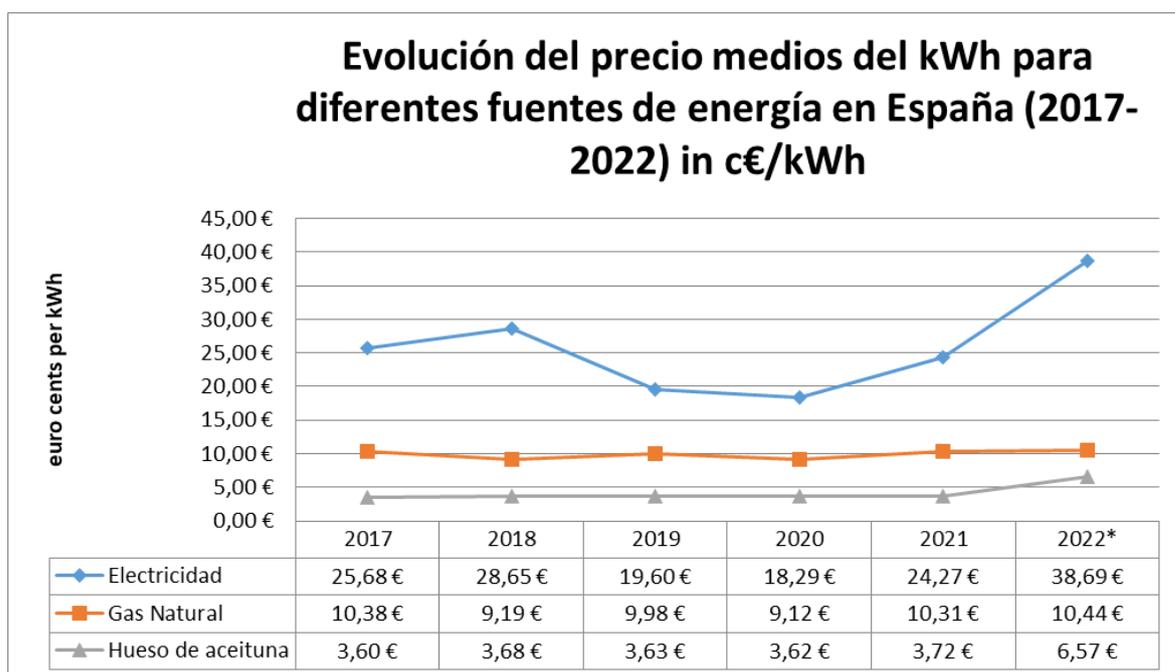


Ilustración 64 - Gráfica de evolución del precio medio del kWh de distintas fuentes de energía en España (2017-2022) según EUROSTAT

Como se puede advertir pronosticar la evolución futura y a largo plazo de las fuentes de energía es muy complicado.

Si bien en el caso del precio del gas y del hueso de oliva se mantiene relativamente constante (hay que tener en cuenta que el precio del gas aún no estaba expuesto a la subida que sufrió por el conflicto geoestratégico generado por la guerra de Ucrania), la electricidad tiene un perfil muy irregular y es muy complicado aseverar cual será la tendencia en los próximos años.

Para tratar de asegurar los valores de referencia se opta por valorar una subida inferior a la habitual en las últimas décadas y se plantea un incremento anual de los precios de las fuentes de energía del 3%.

### 3.4. EL CONCEPTO DE INVERSIÓN

El término inversión hace referencia a la aportación de capital en una operación, proyecto o iniciativa empresarial con la expectativa de recuperarlo con rendimientos en un determinado plazo de tiempo.

Esta suma de dinero se pone a disposición de terceros, una empresa o un conjunto de acciones con la intención de que aumente, derivado de las ganancias producidas por dicho fondo o proyecto empresarial.

Evidentemente toda inversión conlleva tanto riesgos como oportunidades. Existe un riesgo debido a que no se garantiza la recuperación del dinero ni la obtención de beneficios. Por otro lado, hay una oportunidad en la medida en que el éxito de la inversión puede resultar en la multiplicación del capital invertido.

En las inversiones, generalmente, se toman en cuenta tres variables distintas.

- Rendimiento esperado, que representa la rentabilidad proyectada en términos positivos o negativos.
- Riesgo aceptado, que refiere a la incertidumbre sobre el rendimiento y la posibilidad de que la inversión no se recupere.
- Horizonte temporal, que establece el período a corto, medio o largo plazo durante el cual la inversión se mantendrá.

En el caso que ocupa la inversión es un valor más intangible que en un caso convencional. La inversión es el exceso de precio que tiene el ladrillo GERO dopado (5%, 10%, 15%) al sustituir la arena tradicional por el triturado de hueso de oliva.

Este exceso de precio, ya calculado:

- 0,55€/m<sup>2</sup> de fachada para el ladrillo dopado al 5%
- 1,17€/m<sup>2</sup> de fachada para el ladrillo dopado al 10%
- 1,70€/m<sup>2</sup> de fachada para el ladrillo dopado al 15%

Es el que se tiene que recuperar con ahorros en las facturas de suministros de combustibles en los años posteriores.

En el momento en el que el ahorro potencial económico en suministros energéticos sea superior a esos valores, la inversión se daría por recuperada.

### 3.4.1. TASA DE DESCUENTO

La tasa de descuento, también conocida como costo de oportunidad, es un concepto financiero fundamental utilizado en la evaluación de inversiones y toma de decisiones económicas.

Se refiere al porcentaje o tasa de interés que se utiliza para descontar flujos de efectivo futuros a su valor presente.

En términos simples, la tasa de descuento representa el costo de renunciar a la oportunidad de invertir ese dinero en otra opción disponible en el mercado o en otra inversión con riesgo similar.

Es esencialmente el costo de oportunidad de utilizar los fondos en una inversión específica en lugar de en la mejor alternativa disponible.

En el contexto de la evaluación de inversiones, la tasa de descuento se utiliza para ajustar los flujos de efectivo futuros, ya que el valor del dinero cambia con el tiempo.

Dado que se prefiere recibir una cantidad de dinero hoy en lugar de en el futuro, se aplica la tasa de descuento para reflejar esa preferencia temporal.

En el cálculo económico que se procede a realizar la tasa de descuento aplicada a los cálculos es del 0%. Esto se justifica en el hecho de que la inversión, en esta investigación, no se compara con otras posibles inversiones que puedan generar más rentabilidad sino lo que se busca es poder concluir que la inversión inicial en el dopado del ladrillo de mortero es viable más rentable a largo plazo por la disminución de las facturas de suministros energéticos.

No interesa compararlo con otras posibilidades: acciones, bonos del estado...

## 3.5. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE INVERSIONES

### 3.5.1. MÉTODOS ESTÁTICOS

Estos enfoques comparten una limitación común al no considerar el valor del dinero en el tiempo, es decir, no incorporan el momento en que se produce la entrada o salida de dinero y, por lo tanto, su valor diferenciado.

Existen varios modelos.

#### 3.5.1.1. Método del Flujo Neto de Caja (Cash-Flow estático)

El Flujo Neto de Caja se define como la suma de todos los ingresos menos todos los pagos realizados durante la vida útil del proyecto de inversión.

Aunque se considera el método más sencillo, tiene utilidad práctica limitada, ya que proyecta el flujo neto de caja a lo largo de toda la vida de la inversión.

#### 3.5.1.2. Método del Pay-Back o Plazo de Recuperación

Representa el número de años que la empresa tarda en recuperar la inversión. Este método favorece proyectos que permiten recuperar la inversión más rápidamente, es decir, aquellos con un periodo de recuperación más corto.

Aunque el Pay-Back tiene algunos inconvenientes comunes a los métodos estáticos, como la falta de consideración del valor del dinero en diferentes momentos, también ignora que los proyectos pueden generar beneficios o pérdidas después de superar el periodo de recuperación.

Dado que el Pay-Back no aborda todas las dimensiones significativas para la toma de decisiones de inversión, no se considera un método completo y aplicable de manera general para medir el valor de las inversiones.

#### 3.5.1.3. Método de la Tasa de Rendimiento Contable

Este método se basa en el concepto de Cash-Flow, pero utiliza beneficios y amortizaciones en lugar de ingresos y gastos (Cash-Flow económico).

La principal ventaja radica en la rapidez de los cálculos, al evitar la elaboración de estados de ingresos y gastos, pero al igual que los métodos anteriores, no proporciona una tasa de rendimiento anual.

El principal inconveniente, además de la limitación de los métodos estáticos, es la falta de consideración de la liquidez del proyecto, un aspecto crucial que puede afectar su viabilidad.

Estos tres métodos son, en realidad, complementarios, ya que cada uno aborda un aspecto diferente del problema.

Al utilizarse simultáneamente, ofrecen una visión más completa de la evaluación de inversiones.

### 3.5.2. MÉTODOS DINÁMICOS

En contraste con los métodos estáticos, los métodos dinámicos incorporan el valor del dinero en el tiempo, utilizando el factor de conversión o tasa de actualización.

#### 3.5.2.1. Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto es uno de los métodos más ampliamente aceptados.

Se define como la suma de los valores actualizados de todos los flujos netos de caja esperados del proyecto, descontando el valor de la inversión inicial.

Los flujos netos de caja actualizados representan la conversión de estos flujos mediante la tasa de actualización a valores en el momento inicial.

Un VAN positivo indica que el proyecto es rentable. Entre proyectos alternativos, aquel con un VAN más alto se considera más rentable. Un VAN nulo implica que la rentabilidad del proyecto es equivalente a colocar los fondos en el mercado con un interés igual a la tasa de descuento utilizada. La elección de la tasa de descuento puede ser determinada por diversas alternativas, como la tasa de descuento ajustada al riesgo, el costo medio ponderado del capital, el costo de la deuda, el costo medio ponderado del capital de la empresa, o el costo de oportunidad del dinero.

La principal ventaja del VAN es su capacidad para homogeneizar flujos netos de caja en un momento común ( $t=0$ ), permitiendo la evaluación de cantidades de dinero generadas en diferentes momentos del horizonte temporal de la inversión.

Además, permite la inclusión de flujos de ingresos y egresos en momentos temporales diversos sin distorsionar el resultado, a diferencia de la TIR.

Dado que el VAN está directamente vinculado a la tasa de actualización, su debilidad radica en la elección de la tasa utilizada para descontar el dinero, lo cual puede ser motivo de debate.

Sin embargo, la tasa de interés seleccionada cumplirá su función de "homogeneización" independientemente del criterio utilizado para su elección.

Para el cálculo del VAN se utiliza la siguiente expresión:

$$VAN = -A_0 + \frac{A_1}{1+k} + \frac{A_2}{(1+k)^2} + \frac{A_3}{(1+k)^3} \dots + \frac{A_n}{(1+k)^n} = -A_0 + \sum_{i=0}^n \frac{A_i}{(1+k)^i}$$

*Ilustración 65 – Fórmula de cálculo del VAN*

Donde:

- $A_0$  es la inversión inicial
- $A_i$  son los diferentes flujos de caja que genera la inversión al final de cada año durante la duración de la misma.
- $n$  es el número de años que dura de la inversión
- $k$  es la tasa de descuento anual o coste de oportunidad.

Criterio de Aceptación del VAN en un determinado plazo de tiempo.

- $VAN > 0 \Rightarrow$  El proyecto generará beneficios en ese plazo de tiempo.
- $VAN = 0 \Rightarrow$  Indiferente. Solamente recuperará la inversión inicial sin causar beneficios ni pérdidas.
- $VAN < 0 \Rightarrow$  El proyecto generará pérdidas en ese plazo de tiempo.

### 3.5.2.2. Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) es la tasa de descuento que iguala el Valor Actual Neto (VAN) de una inversión a cero (VAN = 0).

Este método considera que una inversión es aconsejable si la TIR es superior a la tasa exigida por el inversor.

A pesar de que la TIR puede calcularse por métodos como la iteración o interpolación lineal, su principal inconveniente radica en la inconsistencia matemática cuando existen desembolsos adicionales durante la vida útil del proyecto, ya sea debido a pérdidas o a nuevas inversiones.

La TIR es un indicador de rentabilidad relativa, y al comparar las tasas de rentabilidad interna de dos proyectos, no tiene en cuenta las posibles diferencias en sus dimensiones. Por lo tanto, su uso requiere precaución, ya que inversiones de diferentes magnitudes pueden presentar TIRs no comparables.

Para el cálculo del TIR se utiliza la siguiente fórmula:

$$0 = -A_0 + \frac{A_1}{1+k^*} + \frac{A_2}{(1+k^*)^2} + \frac{A_3}{(1+k^*)^3} \dots + \frac{A_n}{(1+k^*)^n} = -A_0 + \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{(1+k^*)^i}$$

*Ilustración 66 - Fórmula para el cálculo del TIR*

Es la misma fórmula que se utiliza para calcular el VAN pero igualando éste a cero y donde la  $k$  pasa a ser la variable calculable (TIR= $k^*$ ) en vez de ser la tasa de descuento.

Por tanto:

- $A_0$  es la inversión inicial
- $A_i$  son los diferentes flujos de caja que genera la inversión al final de cada año durante la duración de la misma.
- $n$  es el número de años que dura de la inversión

Cuando el VAN = 0 (cero), significa que la tasa que se está utilizando para descontar o actualizar, es igual a la TIR del proyecto.

Criterio de Aceptación del TIR en un determinado plazo de tiempo:

- $TIR (k^*) > Tasa\ de\ Corte (k) \Rightarrow$  El proyecto generará beneficios en ese plazo de tiempo
- $TIR (k^*) = Tasa\ de\ Corte (k) \Rightarrow$  Indiferente. Solamente recuperará la inversión inicial sin causar beneficios ni pérdidas.
- $TIR (k^*) < Tasa\ de\ Corte (k) \Rightarrow$  El proyecto generará pérdidas en ese plazo de tiempo

Los resultados del análisis de sostenibilidad económica se presentan en el capítulo de Resultados del presente documento.



**11**

---

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN  
DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL  
DEL DOPADO DE TRITURADO DE  
HUESO DE OLIVA EN LADRILLOS DE  
MORTERO PARA CONSTRUCCIÓN DE  
EDIFICIOS**

## 1. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA AMBIENTAL DEL LADRILLO GERO DE MORTERO DOPADO CON TRITURADO DE HUESO DE OLIVA

### 1.1. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA AMBIENTAL (ACV)

Para valorar el impacto ambiental de la utilización de los ladrillos GERO con diferentes porcentajes de dopado (entre el 5% y el 15%) con triturado de hueso de oliva en una edificación se realiza una evaluación medioambiental a través de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV o LCA en inglés).

### 1.2. METODOLOGÍA Y CASO DE ESTUDIO

La metodología empleada para el estudio medioambiental es el análisis de ciclo de vida (ACV - LCA), regida por las ISO 14040 e ISO 14044 [85].

Estas, a través de unos pasos intermedios permiten evaluar los diversos impactos medioambientales que se producen para un producto o servicio.

### 1.3. FUENTE DE DATOS Y SOFTWARE UTILIZADO

El análisis de ciclo de vida (ACV - LCA) se modeliza con el software SimaPro 9.4.

Esta herramienta dispone de una gran variedad de bases de datos.

El estudio se realiza con los datos que proporciona Ecoinvent v.3 [86] y por otro lado con la base de datos de ELCD (European Life Cycle Databases).

## 1.4. OBJETIVOS Y ALCANCE

El principal objetivo del estudio medioambiental es analizar los impactos medioambientales que se producen al dopar unas alternativas de morteros con triturado de hueso de oliva.

En cada alternativa la cantidad de árido fino es reemplazada por un porcentaje de triturado de hueso de oliva (entre el 5% y el 15%).

De esta forma se puede estudiar sus posibles aplicaciones en la manufactura de ladrillos perforados tipo GERO, como elemento de construcción y su posible aplicación en edificaciones residenciales.

### 1.4.1. UNIDAD FUNCIONAL

La unidad funcional que mejor se ajusta para entender los impactos medioambientales asociados a la utilización del triturado de hueso de oliva en mortero en la edificación es la de 1m<sup>2</sup> de fachada.

De esta forma se puede comparar la creación de 1m<sup>2</sup> de fachada con los ladrillos perforados fabricados con un mortero dopado con diversos porcentajes (5-15%) con respecto a los fabricados con un mortero sin dopar.

Se omite el estudio del resto de materiales de construcción que componen la fachada y la envolvente como son el aislamiento de poliestireno expandido, cámara de aire, revocado de yeso ya que en todas las alternativas evaluadas sus características de espesor y materiales son las mismas.

Por lo tanto, sólo se tiene en cuenta la capa de revestimiento de 3cm de mortero, y las dos capas de ladrillos perforados del tipo GERO de 11,5cm cada una.

Como primer paso se trata de determinar la cantidad de mortero necesaria para la construcción de 1m<sup>2</sup> de fachada. Dado que se conoce las dimensiones de los ladrillos perforados se obtiene su superficie lateral de un ladrillo. Esta es de 250 cm<sup>2</sup> (25x10cm). En consecuencia, para la alcanzar una superficie de 1m<sup>2</sup> de fachada es necesario un total de 40 ladrillos. Y como existen dos capas de ladrillos resultan necesarios un total de 80 ladrillos.

Dado su volumen neto de mortero por ladrillo que es de 894,16 cm<sup>3</sup> se establece que 80 ladrillos equivalen a 0,0715 m<sup>3</sup> de mortero.

## 1.4.2. CONDICIONES DE CONTORNO

Las condiciones de contorno que cita la metodología del sistema hacen referencia a los límites de estudio de la investigación.

En este caso al estar compuesta la unidad funcional por un elemento de construcción como es el ladrillo tipo GERO, las normas UNE-EN ISO 14040 y UNE-EN ISO 14044 [87] establecen una serie de etapas.

Este conjunto de procesos o etapas define el análisis de ciclo de vida (ACV - LCA) de la cuna a la puerta o de la cuna a la tumba según cuantas fases se utilicen.

Las fases son las siguientes:

- A1-A3: Etapa de producción o de creación
- A4-A5: Etapa de transporte y construcción
- B1-B7: Etapa de uso
- C1-C4: Etapa de fin de vida
- D: Potencial de recuperación, reutilización, reciclaje

Las primeras etapas (A1-A2-A3) corresponden a la creación del producto (ladrillo tipo GERO). Por lo tanto, en estas etapas se establecen los procesos internos de la obtención de las materias primas, transporte y flujos de energía necesarias para crear un total de 80 ladrillos tipo GERO que corresponden con un 1m<sup>2</sup> fachada.

La utilización de materiales de construcción para la producción de los elementos (A1-A2-A3) son, habitualmente, los generadores de los mayores impactos. Incluso, muchas investigaciones ciñen el análisis completo únicamente a estas tres etapas. [88] [89].

Las etapas posteriores (A4-A5) denominadas implementación en la edificación engloban procesos de transporte de los ladrillos desde la planta de fabricación al lugar de la obra, así como los consumos energéticos producidos de elevar las cargas hasta su posición final en la edificación.

Es evidente, tal y como se ha desarrollado en la investigación, que la mejora térmica del mortero dopado con triturado de hueso de oliva supone una disminución de consumo de energía en edificación. Por ejemplo, un dopaje del 5% supone disminuir el coeficiente de conductividad térmica ( $\lambda$ ) un 15,66%.

Por lo tanto, en esta investigación se propone estudiar fases posteriores como son el proceso de construcción y ejecución (A4-A5) de la unidad funcional en una edificación.

Además, es en estas etapas donde la unidad funcional puede suponer impactos positivos sobre el medioambiente.

Finalmente, las fases de uso y mantenimiento del producto (B1-B7) son en las que menor es la carga ambiental generada por la unidad funcional. En el caso de la investigación se encuentra justificada su valoración dado que el ladrillo tipo GERO dopado con triturado de hueso de oliva supone una reducción de las demandas energéticas (calefacción y refrigeración) en una edificación.

Por lo tanto, en esta investigación se propone estudiar estas fases y de esta forma añadir a los resultados posibles ventajas medioambientales que se obtienen en la fase de uso de la edificación, obteniendo, por tanto, un análisis completo de la cuna a la tumba.

En última estancia las etapas de demolición y derribo (C1-C4) se pueden considerar prácticamente iguales entre las diversas alternativas de la unidad funcional, por lo que se decide excluirlas de esta investigación.

En la siguiente figura se muestran las condiciones de contorno que se han evaluado en esta investigación.

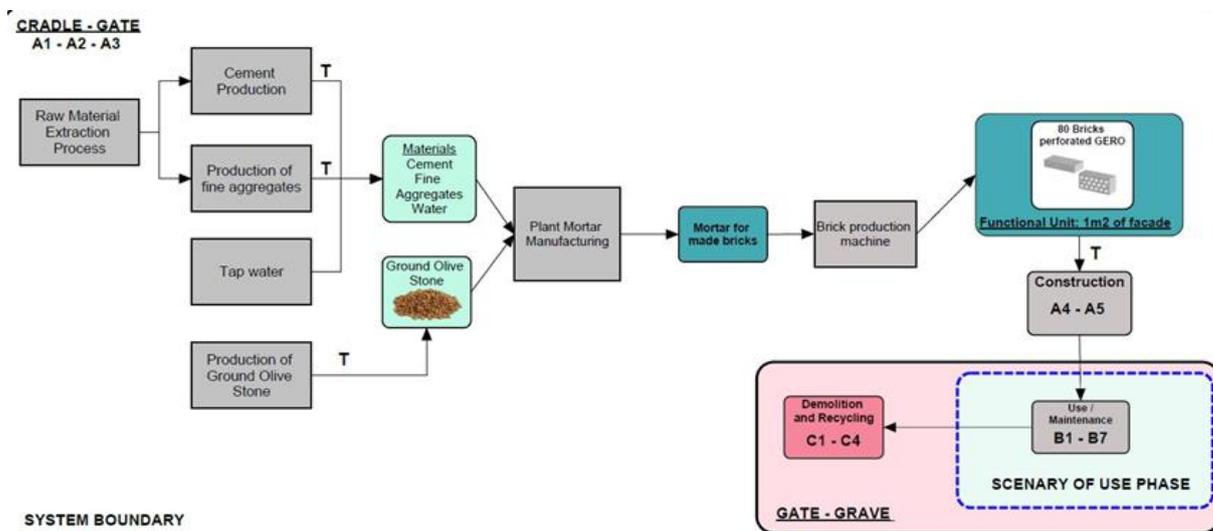


Ilustración 67 - Condiciones de contorno para la producción de 1m<sup>2</sup> de fachada.

Las cajas de color verde representan materiales, las cajas de color gris procesos productivos, y las cajas de color azul turquesa indica producto ya finalizado.

La letra "T" indica que se produce un proceso de transporte de esa materia prima.

Un aspecto clave del sistema evaluado es la producción de la materia prima del triturado de hueso de oliva. En la siguiente figura se muestra el proceso de tratamiento del triturado de hueso de oliva para su uso como árido reciclado.

El proceso que se explica a continuación corresponde con el diseñado por Espadas et al [90], donde utilizan el residuo del orujillo como material composite. Para su uso como material de composite describen una serie de procesos intermedios. En el caso de esta investigación solo se tienen en cuenta las fases que afectan al proceso de producción del triturado de hueso de oliva.

El primer residuo que se obtiene es el orujo de la oliva con una humedad elevada (~54%). Este valor de humedad no supone un problema para la mezcla de mortero ya que el árido fino también dispone de una humedad del 55%. Por lo que el primer proceso consiste en un dispositivo molidor en el cual se obtienen tamaños de árido del 1,25mm.

Y finalmente con objeto de homogeneizar la mezcla de los residuos obtenidos se somete a un proceso de tamizado. De esta forma se obtiene triturado de hueso de oliva listo para utilizarse [90].

Como se aprecia las entradas al sistema únicamente son energía eléctrica.

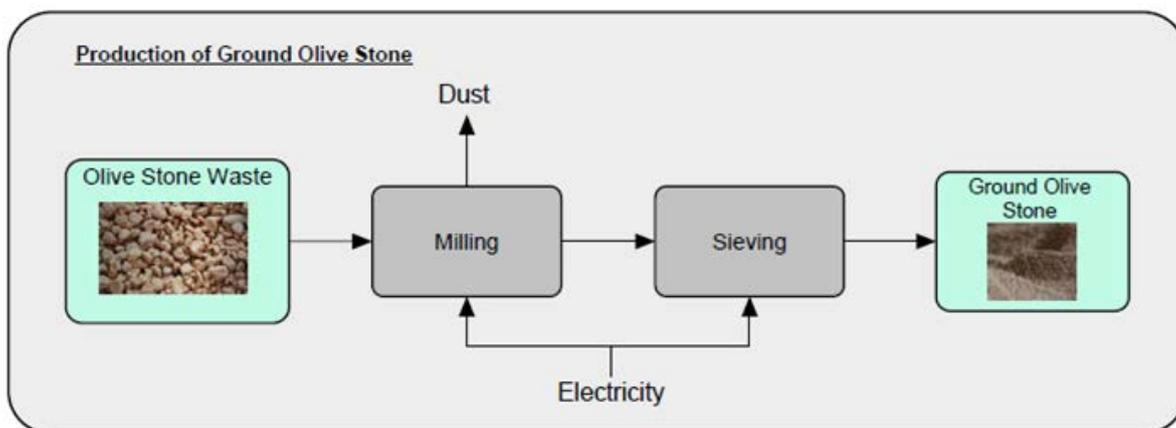


Ilustración 68 - Procesos para la producción de triturado de hueso de oliva

- Las cajas grises representan procesos.
- Las cajas verdes materiales.

### 1.4.3. INVENTARIO DE CICLO DE VIDA (ICV - LCI)

En esta fase de la metodología se crea el inventario de ciclo de vida.

Es decir, se trata de recopilar toda la información en cuanto a flujos de materia, energía, procesos que intervienen en la creación de una unidad de 1m<sup>2</sup> de fachada para edificación.

También se añaden los datos necesarios para caracterizar el proceso de pretratamiento del triturado de hueso de oliva.

Para el caso del proceso tratamiento del triturado de hueso de oliva como árido fino se recurrió a investigaciones actuales [90][86].

#### 1.4.3.1. Materias Primas (A1)

En la siguiente tabla se muestran las cantidades de las materias primas que son necesarias para la fabricación de mortero que interviene en 1m<sup>2</sup> de fachada.

Inventario	Unidad	M-0	M-5	M-10	M-15
Cemento	kg	17,07	17,07	17,07	17,07
Agua	kg	13,87	13,87	12,8	12,8
Áridos finos	kg	85,36	81,09	76,83	72,56
Hueso de oliva	kg	-	1,52	3,03	4,48

*Tabla 65 - Inventario de las alternativas de morteros que componen 1m<sup>2</sup> de fachada.*

#### 1.4.3.1.1. Triturado de hueso de oliva

Algunas investigaciones consideran el triturado de hueso de oliva como un residuo del proceso de obtención de aceite de oliva (otras lo consideran un subproducto).

Por lo tanto, asocian las cargas ambientales a este proceso eximiendo al triturado de hueso de oliva de ningún impacto medioambiental [91]. Esto puede suponer un desequilibrio en el estudio y la obtención de resultados erróneos en favor de usar el triturado de hueso de oliva. Ya que para su utilización en los morteros que compone los ladrillos perforados tipo GERO este deber sufrir un tratamiento previo. Y por lo tanto lleva asociado unos consumos de energía y material.

Este proceso se compone de tres subprocesos o etapas.

El hueso de oliva procedente de la producción de aceite de oliva contiene adherido a él pulpa de la aceituna, cáscara y agua. Esta mezcla es denominada alperujo y tiene un alto contenido de humedad.

Por lo que el primer subproceso será un secado para reducir el contenido de humedad, para posteriormente someterlo a un segundo proceso de triturado hasta las dimensiones del árido fino.

Finalmente, el tercer proceso de tamizado sirve para conseguir materia prima homogénea. Las máquinas empleadas únicamente consumen energía eléctrica.

El inventario de ciclo de vida (ICV - LCI) de la preparación del triturado del hueso de oliva es obtenido de la investigación realizada por Espadas et al. donde evalúan la utilización del alperujo en materiales composite [90].

Se ha adaptado los consumos de energía eléctrica a la red nacional de España.

Según esta investigación y seleccionando únicamente los procesos que afectan a la producción del triturado de hueso de aceituna destacan un consumo de 0,21 kWh/ kg de triturado de hueso de aceituna.

#### 1.4.3.2. Transporte (A2)

En esta sección se justifican las distancias existentes entre el lugar de producción de la materia prima y el punto de fabricación de la mezcla de mortero preparada.

La unidad de transporte que se define es la tonelada por kilómetro (tkm).

Comúnmente el transporte de las materias primas se realiza con un camión de carga de 16-32 toneladas y empleando un motor diésel.

Para la obtención de los valores de las distancias se utiliza la investigación de Clemente et al. Donde se evalúan la preparación, transporte y puesta en obra del hormigón en España [92].

Para los áridos finos se establece un rango medio de 15-60km, desde la cantera hasta la planta de preparado. Se escoge un valor de 30km.

En el caso del cemento la distancia se ve incrementada considerablemente debido a que no se dispone de tantas plantas productoras de cemento. Se valora un intervalo de transporte medio de 50–400 km, de lo que se decide escoger el valor de 200 km.

Finalmente, el triturado de hueso de oliva debe viajar desde su lugar de la producción en la almazara hasta la planta de producción del mortero. Para ello se vuelve a elegir la distancia de 30 km al igual que la del árido fino.

La siguiente tabla muestra los valores de la variable transporte.

Tipo	Cemento* (kg)	Transporte de cemento (tkm)	Áridos finos** (kg)	Transporte de áridos finos (tkm)	Hueso de oliva*** (kg)	Transporte Hueso de oliva (tkm)
M-0	17,07	3,414	85,36	2,56	-	-
M-5			81,09	2,43	1,52	0,045
M-10			76,83	2,3	3,03	0,091
M-15			72,56	2,18	4,48	0,134

Tabla 66 - Variable transporte de las materias primas necesarias para la creación de 1m<sup>2</sup> de fachada

\*Distancia recorrida por el cemento 200 km.

\*\*Distancia recorrida por el árido fino 30 km.

\*\*\*Distancia recorrida por el hueso de aceituna 30 km.

#### 1.4.3.3. Proceso Productivo (A3)

La fase del proceso productivo de ladrillos tipo GERO comienza con la creación del mortero. Para ello las plantas productoras de hormigón y mortero tienen acopios en silos de las materias primas.

El proceso de la creación del mortero es bastante simple.

En primer lugar, se procede a la dosificación de los componentes y su vertido en una amasadora donde se homogeneiza la mezcla a medida que se va añadiendo agua hasta conseguir el resultado deseado. Como en esta primera etapa del proceso productivo la escasez de maquinaria es evidente, los consumos eléctricos no son elevados.

Teniendo en cuenta que 1m<sup>2</sup> de fachada implica la utilización de 0,0715 m<sup>3</sup> de mortero y que la potencia media necesaria para la producción de 1m<sup>3</sup> de mortero sería de 1,96 kW/m<sup>3</sup>, implicando un consumo de 1,51 kWh/m<sup>3</sup> de energía eléctrica [92], se obtiene un consumo de energía eléctrica de 0,108 kWh.

A este consumo se le debe añadir los consumos de energía derivados del proceso de tratamiento del hueso de aceituna para su creación como árido fino.

Una vez que el mortero se encuentra mezclado con las materias primas, este debe ser moldeado para la producción de ladrillos perforados. Para el inventario se ha utilizado los datos de la investigación realizada por López et al. [93] donde realizan un análisis de ciclo de vida (LCA) de la producción de ladrillos cerámicos dopados con hueso de oliva.

Un aspecto importante se trata de que en esta investigación los ladrillos son de mortero, por lo que no deben ser cocidos. Por lo que solo se obtiene consumo eléctrico del proceso de la moldeadora de presión. Además, se contabilizan el gasto de materiales de los moldes de los ladrillos. El secado de los ladrillos se evalúa como un proceso de ventilación natural sin ningún tipo de maquinaria específica. Y finalmente también se incorpora al estudio el empaquetado de los ladrillos para su distribución.

En la siguiente tabla se muestra el inventario utilizado para la producción de los ladrillos perforados.

Para la obtención de datos se ha realizado un proceso de interpolación y ajuste con respecto a los datos de referencia.

Inventario	Unidad	Cantidad por ladrillo
Film de empaquetado	kg	6.05E-02
Polietileno	kg	9.58E-05
Pallet	p	1.80E-03
Laminado de hojas	kg	1.75E-05
Acero laminado en caliente	kg	3.42E-03
Laminado de chapa de acero	kg	1.75E-03
Poliestireno expandido	kg	3.93E-02
Electricidad	Wh	5.35

Tabla 67 - Inventario para la fabricación de 80 ladrillos (1m<sup>2</sup> de fachada)

#### 1.4.3.4. Transporte a obra (A4)

Una vez que se han producido los ladrillos perforados dopados para la creación de 1m<sup>2</sup> de fachada deben ser trasladados a la zona de construcción.

Generalmente las obras, se encuentran a diversas distancias del lugar de las plantas de mortero y hormigón. Sin embargo, no es común exceder distancias superiores a 60 km siendo el más común 30 km y lo menos frecuente unos 15 km [92].

En esta investigación se opta por una distancia a la zona de la edificación de 30km.

Es decir, los ladrillos fabricados que se van a utilizar en obra deben sufrir un transporte de 30km.

#### 1.4.3.5. Puesta en obra (A5)

En esta sección se cuantifican las cantidades de energía necesarias para la creación de 1m<sup>2</sup> de fachada en una edificación.

Para el caso de los ladrillos estos se suelen subir desde la planta baja hasta el piso/lugar de referencia a través de un polipasto.

Se determina que de media un polipasto consumo un total de 14,16Wh de energía eléctrica para elevar una carga de 400 kg.

Por lo tanto, para 1m<sup>2</sup> de fachada que se compone de 80 ladrillos será aproximadamente de 4Wh.

Como se aprecia y en respaldo de los comentado anteriormente en las etapas de puesta en obra y construcción los consumos de energía y materias primas son ínfimos en comparación con etapas anteriores de producción del producto (A1-A2-A3).

#### 1.4.3.6. Etapas de uso

En la etapa de uso se estudian las siguientes fases del ciclo de vida del producto:

- B1: Uso
- B2: Mantenimiento
- B3: Reparación
- B4: Substitución
- B5: Reforma
- B6: Consumo de energía durante el uso del edificio
- B7: Consumo de agua durante el uso del edificio

Normalmente en un análisis de ciclo de vida (LCA) de la cuna a la puerta, esta etapa no se utiliza. Sin embargo, en el caso de estudio esta fase resulta prioritaria para poder justificar el uso del triturado de hueso de aceituna.

Es en esta etapa donde la utilización del residuo conlleva un ahorro energético durante el resto de la vida útil del producto (35-70 años) que será necesario satisfacer por otras fuentes de energía en caso contrario.

Se hace, por tanto, un análisis de ciclo de vida de la cuna a la tumba.

#### 1.4.3.7. Etapa final de vida

En la última etapa de la vida del producto se pueden encontrar las siguientes fases:

- C1: Demolición / deconstrucción
- C2 : Transporte
- C3 : Tratamiento de residuos
- C4 : Vertido
- D: Potencial de recuperación, reutilización, reciclaje

Ocurre lo mismo en esta etapa que en la anterior de uso.

#### 1.4.4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE CICLO DE VIDA (ACV - LCA)

Antes de la obtención de los resultados medioambientales de la investigación, se debe escoger la metodología final de evaluación de impacto de ciclo de vida (LCA).

En función de cada metodología de LCA existente se obtendrán unos resultados u otros, ya que cada metodología de evaluación contiene categorías de impacto específicas que otras no tienen por qué contener. Además, los valores de caracterización que incorporan cada una son diferentes entre sí.

Estos sirven para transformar los valores de flujos de materia, energía y recursos identificados en la etapa anterior del ICV-LCI en impactos medioambientales.

En el caso específico de elementos de construcción, como es el de esta investigación, generalmente se emplea la metodología EPD.

Esto es debido a que esta metodología permite la creación de las denominadas Declaraciones Medioambientales de un Producto (EPD) y así poder comparar diferentes productos entre sí a nivel medioambiental [94].

En la siguiente tabla se muestran las categorías de impacto que recoge la metodología EPD y sus unidades de medida.

Categorías de impacto	Unidad
Acidificación	kg SO <sub>2</sub> eq
Eutrofización	kg PO <sub>4</sub> eq
Calentamiento global (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq
Oxidación fotoquímica	kg NMVOC
Agotamiento abiótico, elementos.	kg Sb eq
Agotamiento abiótico, combustibles fósiles (ADFF)	MJ
Escasez de agua	m <sup>3</sup> eq
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC-11eq

Tabla 68 - Indicadores de impacto en la metodología de declaración ambiental del producto (EPD)

Los resultados del análisis de ciclo de vida ambiental se presentan en el capítulo de Resultados del presente documento.



**12**

---

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN  
DE LA SOSTENIBILIDAD SOCIAL DEL  
DOPADO DE TRITURADO DE HUESO  
DE OLIVA EN LADRILLOS DE  
MORTERO PARA CONSTRUCCIÓN DE  
EDIFICIOS**

## 1. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA SOCIAL DEL LADRILLO GERO DE MORTERO DOPADO CON TRITURADO DE HUESO DE OLIVA

Para concluir con la investigación se plantea realizar un análisis de ciclo de vida social [20] del proceso de fabricación y uso del ladrillo GERO perforado y dopado con triturado de hueso de oliva.

Una vez analizada, justificada y argumentada la viabilidad energética, económica y ambiental se pretende en este punto sustentar las ventajas sociales que podría tener la generación y desarrollo de una industria local para la fabricación de ladrillos dopados.

La evaluación social de la construcción de edificios es un reto que debe fomentarse para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en 2030 [4].

Hay que tener en cuenta que el sector de la construcción de edificios siempre ha tenido un gran potencial dinamizador de la sociedad, tanto como generador de empleo, como motor económico a nivel local, por lo que es muy importante que se evalúen, analicen y se detallen todos los posibles impactos positivos que este sector pueda tener en la sociedad. Y algo parecido ocurre con la energía de la biomasa. En España, sólo en Andalucía, se estima que con el hueso de oliva se emplea a más de 20.000 personas considerando la producción eléctrica y térmica.

### 1.1. CICLO DE VIDA SOCIAL (ACV-S)

La evaluación del Ciclo de Vida Social (ACV-S) constituye un enfoque metodológico para analizar los efectos sociales asociados con productos y servicios a lo largo de su ciclo de vida, abarcando desde la extracción de materias primas hasta la fase de disposición final (de la cuna a la tumba).

Este método [20] proporciona un marco sistemático de evaluación que integra datos tanto cuantitativos como cualitativos.

El ACV-S suministra información relevante sobre aspectos sociales y socioeconómicos que respaldan la toma de decisiones, con la meta última de mejorar el desempeño social de una organización o producto y, en última instancia, el bienestar de las partes interesadas. El ACV-S se fundamenta, por tanto, en la combinación de diversos métodos, modelos y datos.

Los métodos específicos pueden hallarse en documentos de referencia como las normas ISO 14040 [82] e ISO 14044 [83] [87] o los desarrollados por la UNEP/SETAC [83] [95][96].

Lo que la distingue de otras técnicas de evaluación de impacto social es su objeto de estudio específico: productos o servicios y su ciclo de vida completo.

Esta se trata de una metodología basada en los modelos, tales como los de proceso, que se utilizan para representar los sistemas y ciclos de vida de los productos objeto de estudio [97] [98] [99] [100] [101].

El ACV-S incorpora algunas de las capacidades de modelado y procesos de evaluación sistemática de la Evaluación del Ciclo de Vida Ambiental y con la economía circular [102], fusionándolos con métodos provenientes de las ciencias sociales.

Los datos obtenidos para ese modelo, que abarcan información sobre el ciclo de vida del producto/sistema y sus posibles impactos, son esenciales para llevar a cabo la evaluación. Herramientas de software pueden facilitar la aplicación de métodos, el acceso a datos genéricos y la presentación de informes resumidos con representaciones gráficas de la información procesada.

Las categorías y subcategorías de impacto evaluadas en el ACV-S son aquellas que pueden afectar directamente a las partes interesadas, ya sea de manera positiva o negativa, durante todo el ciclo de vida del producto. Estas categorías se definen en gran medida a nivel internacional, conforme a marcos políticos y otras referencias de responsabilidad social, y se ajustan a la mejor ciencia disponible.

Su alcance es integral, abarcando todo el ciclo de vida [103], y su naturaleza es sistemática, representando un proceso estructurado para recopilar información sobre los impactos y beneficios sociales a lo largo de dicho ciclo.

## 1.2. CICLO DE VIDA SOCIAL (ACV-S) DEL LADRILLO GERO

### DOPADO CON HUESO DE OLIVA

En este caso se pretende realizar un análisis de ciclo de vida social (ACV-S) de la incorporación de triturado de hueso de oliva para la fabricación de ladrillos GERO perforados en construcción de edificios [104] según la metodología de las normas ISO 14040 [82] e ISO 14044 [83] [87] para la evaluación del ciclo de vida de los productos y que se basa en el desarrollo de cuatro etapas:

- Alcance
- Inventario
- Técnica de evaluación
- Resultados

#### 1.2.1. ALCANCE

En el alcance, se pretende conocer e identificar los principales procesos del ciclo de vida del producto que producen un mayor impacto social (tanto negativo como positivo), y así disponer del conocimiento que posteriormente permita aumentar su rendimiento social tal y como asegura la UNEP/SETAC [83] [95][96].

La evaluación comprende un enfoque de la cuna a la tumba incluyendo todos los impactos relacionados con las actividades de producción del ladrillo GERO de mortero dopado, así como los derivados de la construcción y mantenimiento de cada una de ellas.

Con este fin, se definen un conjunto de criterios cuantitativos.

##### 1.2.1.1. Agentes

Los agentes implicados se clasifican según la metodología UNEP/SETAC [83] reflejada en el documento Líneas Directrices para un Análisis de Ciclo de Vida en 5 categorías según sus intereses.

Trabajadores
Libertad de asociación
Esclavitud infantil
Salario justo
Horas de trabajo
Trabajo forzado
Igualdad de oportunidades/discriminación
Seguridad y salud
Beneficios sociales/Seguridad social

Tabla 69 - Categoría trabajadores y subcategorías asociadas según metodología UNEP/SETAC [83]

Consumidores
Salud y seguridad
Mecanismo de retroalimentación
Privacidad del consumidor
Transparencia
Responsabilidad en el fin de vida

Tabla 70 - Categoría consumidores y subcategorías asociadas según metodología UNEP/SETAC [83]

Comunidad local
Acceso a recursos materiales
Acceso a recursos inmateriales
Deslocalización y migración
Patrimonio cultural
Respeto a los derechos indígenas
Seguridad y condiciones de vida
Compromiso comunitario
Empleo local

Tabla 71 - Categoría comunidad local y subcategorías asociadas según metodología UNEP/SETAC [83]

Sociedad
Compromiso público con temas de sostenibilidad
Contribución al desarrollo económico
Prevención y mitigación de conflictos armados
Desarrollo tecnológico
Corrupción

Tabla 72 - Categoría sociedad y subcategorías asociadas según metodología UNEP/SETAC [83]

---

Cadena de valor
Competencia leal
Promoción de la responsabilidad social
Respeto de los derechos de propiedad intelectual
Relación con los proveedores

*Tabla 73 - Categoría cadena de valor y subcategorías asociadas según metodología UNEP/SETAC*  
[83]

Posteriormente, se definen las subcategorías de impacto en función de las características socialmente relevantes. Se utiliza como referencia para definirlos los acuerdos y normas internacionalmente establecidas, Declaración Universal de Derechos Humanos (1976) [105], aunque se modifican y desechan algunos de ellos para adaptarlos al caso de estudio.

La siguiente tabla muestra los grupos y subcategorías seleccionados.

GRUPO IMPLICADO		SUBCATEGORÍAS DE IMPACTO
Trabajadores	A1	Salario Justo
	A2	Horas de trabajo
	A3	Igualdad de oportunidades
	A4	Seguridad y salud
	A5	Beneficios sociales
Consumidores/Usuarios	B1	Ahorro energético
	B2	Ahorro económico
	B3	Sostenibilidad ambiental
Comunidad Local	C1	Acceso a recursos materiales
	C2	Deslocalización y migración
	C3	Compromiso comunitario
	C4	Empleo local
Sociedad	D1	Compromiso público con temas de
	D2	Contribución al desarrollo económico
	D3	Desarrollo tecnológico
Actores de cadena de	E1	Competencia leal
	E2	Promoción de la responsabilidad social
	E3	Relación con los proveedores

Tabla 74 - Agentes implicados según la metodología UNEP/SETAC.

#### 1.2.1.2. Producto

El sistema producto [106] se define, en ese caso, por las siguientes fases:

- Reciclaje del residuo
- Fabricación del ladrillo
- Comercialización
- Uso en construcción de nuevos edificios
- Mantenimiento y fin de vida.

Para su determinación de prioridad se define como unidad funcional el m<sup>2</sup> de fachada 26cm de espesor compuesto de dos hojas de ladrillo GERO perforado (11.5cm cada uno) y un revestimiento exterior de 3cm de mortero, ambos dopados con triturado de hueso de oliva.

### 1.2.2. INVENTARIO

El inventario del ciclo de vida social (ACV-S) [107] se define en función de los procesos unitarios utilizando las horas de trabajo y el valor añadido como las dos variables actividad que permiten cuantificar potencialmente el proceso.

Esta lista de procesos es ponderada entre 0 y 10, en relación con el conjunto de todas las fases sobre un total de 100.

Las ponderaciones realizadas se muestran en la siguiente tabla.

FASE DEL CICLO DE VIDA		PROCESO UNITARIO	POND.
RECICLAJE DEL RESIDUO	A1	Recogida	7
	A2	Transporte	5
	A3	Localización	8
	A4	Difusión	5
FABRICACIÓN	B1	Fabricación	9
	B2	Localización	7
	B3	Difusión	5
	B4	Asistencia externa	2
COMERCIALIZACIÓN	C1	Estudio localización	5
	C2	Difusión	5
	C3	Mantenimiento	3
USO	D1	Transporte	9
	D2	Colocación	10
	D3	Ahorro energético	9
MANTENIMIENTO - FIN DE VIDA	E1	Reparación	6
	E2	Desmantelamiento	5
Total puntos			100

Tabla 75 - Inventario de ciclo de vida social (ACV-S) con puntuación.

### 1.2.3. TÉCNICA DE EVALUACIÓN

A continuación, se establece la relación existente entre cada proceso y las diferentes subcategorías de impacto ("x" en cada subcategoría de impacto en la que puede influir cada proceso) y posteriormente se procede a ponderar cada proceso en función del inventario de ciclo de vida mediante puntuación y agregación por subprocesos.

Los resultados de este análisis de vida social se presentan en el capítulo Resultados del presente documento.



---

## RESULTADOS

## 1. RESULTADOS DEL ENSAYO EXPERIMENTAL DE COMPROBACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL MORTERO DE CEMENTO CON LA ADICIÓN DE RESIDUOS DE CAUCHO

Todas las lecturas de las sondas de temperatura a lo largo de los siete días del estudio muestran de manera clara un comportamiento evolutivo diferente de las celdas en función de la composición de sus materiales constituyentes.

En la figura siguiente se representan las variaciones de temperatura en el interior de las tres celdas.

A partir de una situación inicial similar y tras los distintos periodos de activación de las fuentes de calor, se puede observar que la temperatura en el interior de la celda de hormigón sin mezcla de caucho (I1) alcanza un máximo de 18,59°C, inferior al máximo de 18,99°C registrado en la celda con un 10% de caucho (I2), y esta a su vez es menor que el máximo de 19,15°C en la celda que contiene un 20% de caucho (I3).

En otras palabras, I2 e I3 son aproximadamente un 2% y un 2,4% más altas que I1, respectivamente, lo que demuestra que la adición de partículas de caucho incrementa la capacidad de aislamiento de los diferentes elementos constituyentes de las celdas.

Esto implica que, en la celda de hormigón sin caucho, el calor generado en el interior escapa con mayor facilidad en comparación con las celdas que contienen caucho.

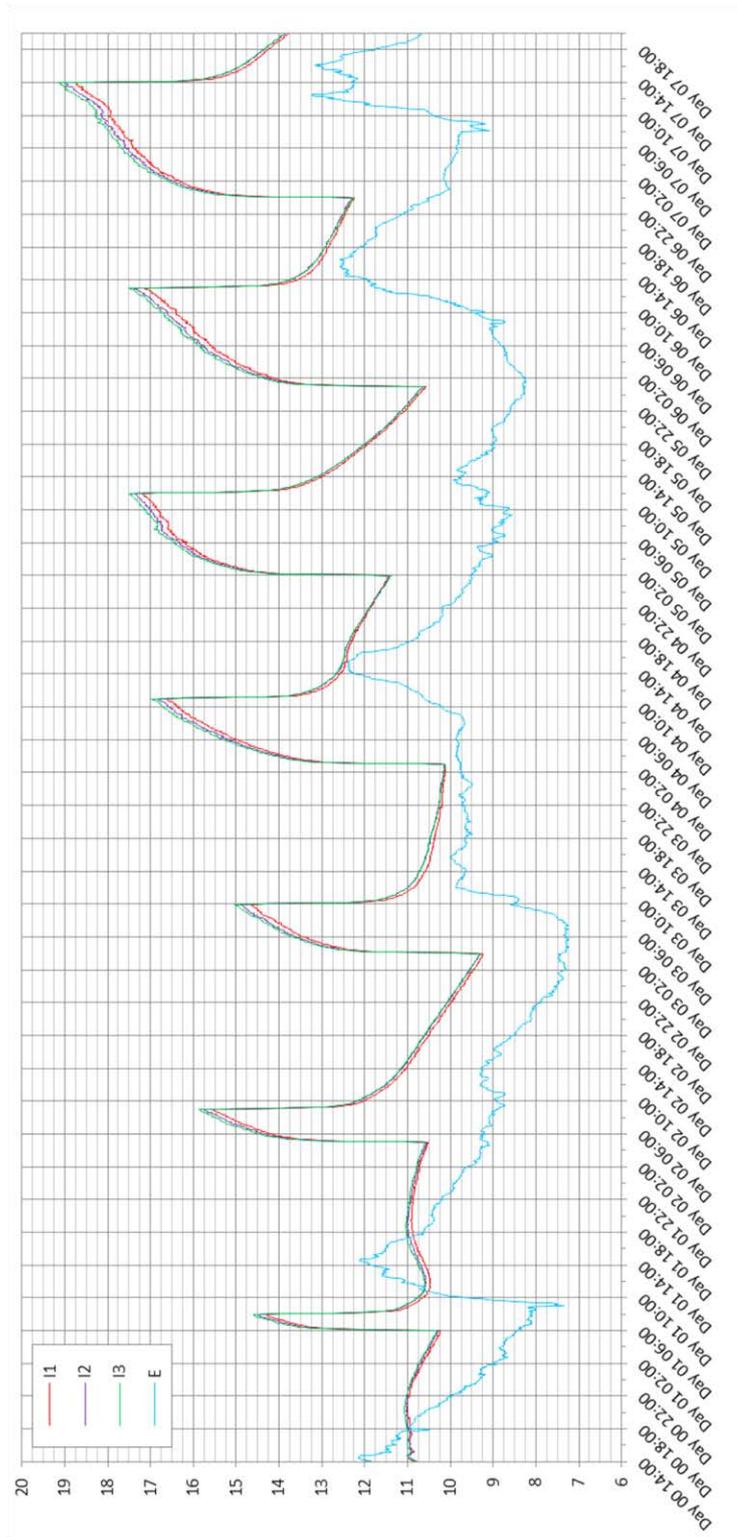


Ilustración 69 - Evolución de las temperaturas (°C) en el interior de las celdas y en el exterior.

Las sondas ubicadas dentro de los muros (M1, M2 y M3) también muestran diferencias significativas.

Nuevamente se observa que la temperatura en el interior del muro de la celda sin caucho (M1) se acerca más a la temperatura exterior (E) en comparación con las temperaturas de las celdas que contienen hormigón mezclado (M2 y M3).

Se observan comportamientos similares en las lecturas registradas por las sondas ubicadas en los techos (T1, T2, T3) y en los suelos (S1, S2, S3) de las tres celdas, aunque con oscilaciones de temperatura de menor magnitud.

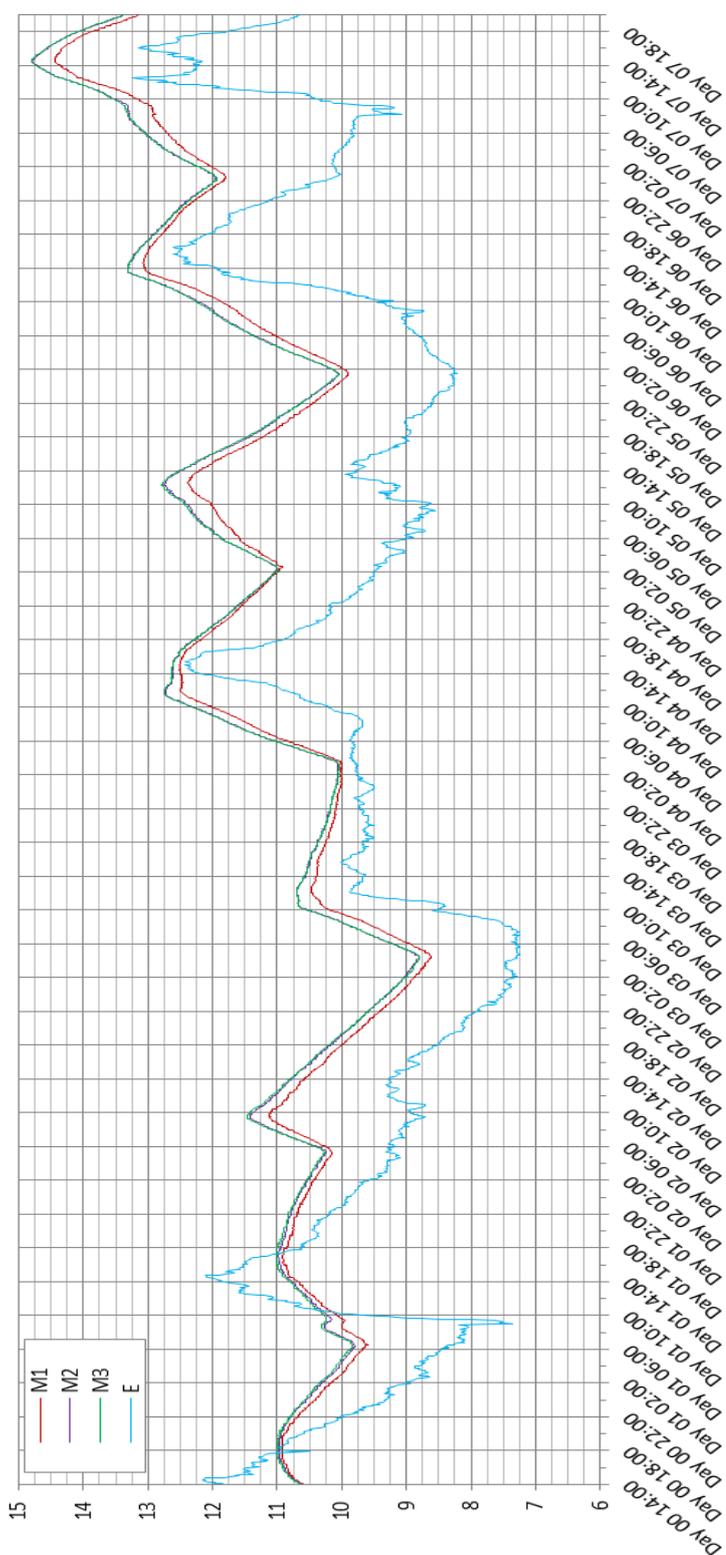


Ilustración 70 - Evolución de las temperaturas (°C) en el interior de los muros y en el exterior.

Un aspecto especialmente relevante es la comparación entre las temperaturas en el interior de cada celda y la temperatura exterior, ya que proporciona una medida significativa de la capacidad de aislamiento de las envolventes de las celdas.

Durante el período analizado, se observa claramente que el gradiente de temperatura entre el interior de cada celda y el exterior depende de manera notable de la composición de los materiales constituyentes y, por lo tanto, de la proporción de caucho en la mezcla.

En el caso de la celda sin caucho, la diferencia entre la temperatura interior y la exterior (I1-E) alcanza un máximo de 8,49°C.

Para las celdas 2 y 3, estos máximos son de 8,86°C (I2-E) y 8,97°C (I3-E), respectivamente, lo que representa un incremento del 4,4% y del 5,6% en comparación con la celda sin caucho.

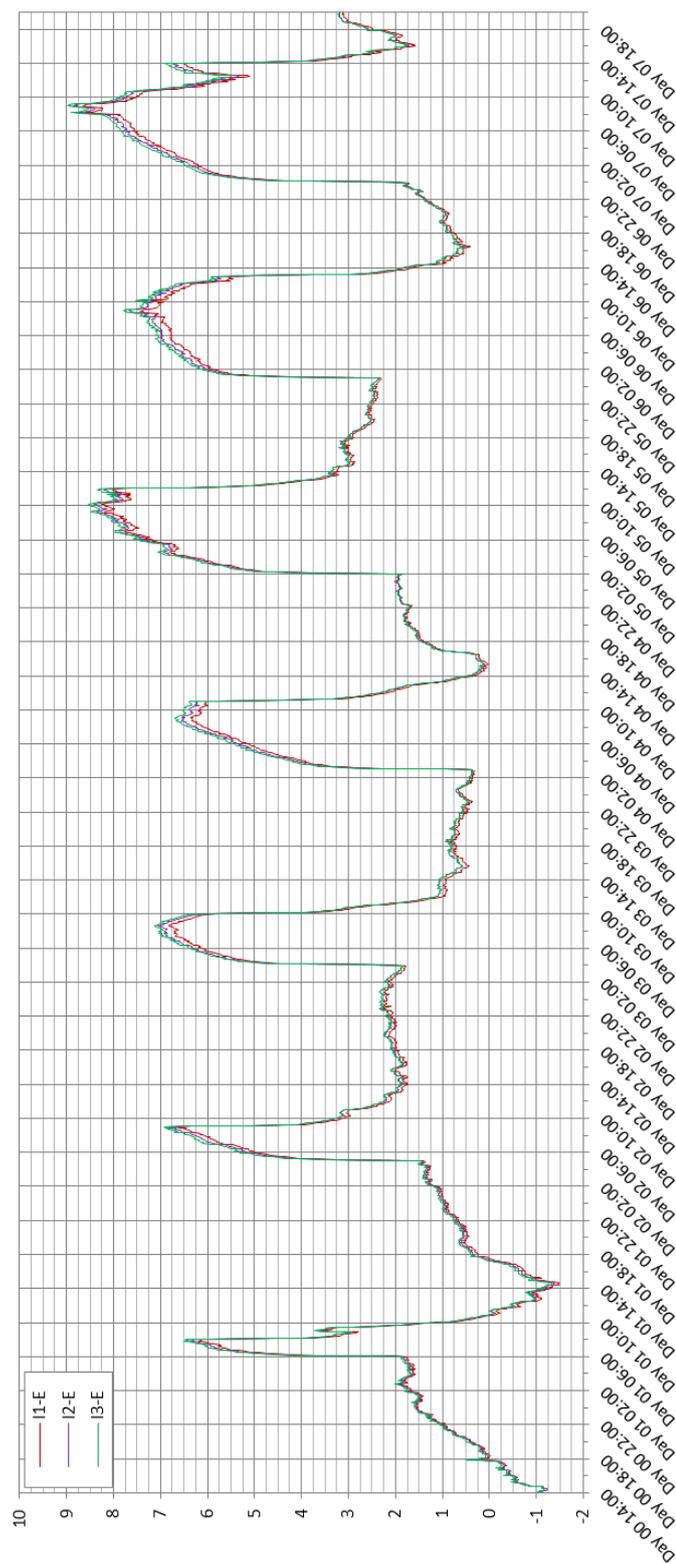


Ilustración 71 - Evolución de la diferencia de temperaturas entre el interior de cada celda y el exterior (°C).

Al analizar la evolución de los ciclos de calentamiento y enfriamiento, se observa que la celda sin añadido de caucho siempre presenta temperaturas interiores más cercanas a la temperatura exterior en comparación con las celdas que contienen caucho, tanto durante los períodos de enfriamiento como de calentamiento.

Este fenómeno también se puede observar en las temperaturas del interior de los muros.

La presencia de partículas de caucho determina una "inercia térmica" diferente en el conjunto, lo que significa que a medida que aumenta el porcentaje de caucho en la mezcla, el interior del edificio tardará más tiempo en alcanzar la temperatura externa.

En resumen, la adición de partículas de caucho de neumáticos fuera de uso aumenta la capacidad aislante de los materiales utilizados.

Esto se traduce en una menor transferencia de calor entre el interior y el exterior, lo que resulta en un mejor aislamiento térmico.

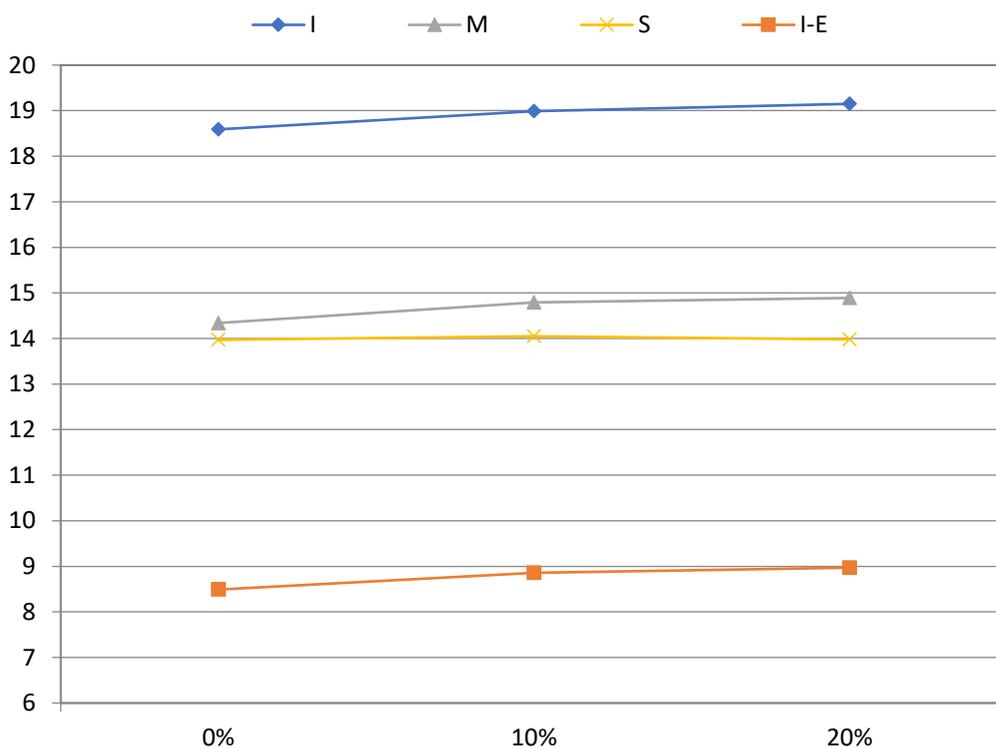


Ilustración 72 - Valores máximos (°C) de las temperaturas interiores (I), en el interior de los muros (M), en el interior de los suelos (S) y de la diferencia de temperatura entre el interior de celda y el exterior (I-E), en función del porcentaje de caucho en la mezcla.

Efectivamente, en diversos estudios previos ya se había constatado una disminución en la conductividad térmica de las probetas de hormigón a medida que aumenta la cantidad de caucho en la mezcla [36].

Esta disminución está asociada a un ligero aumento de la porosidad. Es decir, a medida que se incorpora un mayor porcentaje de caucho en la mezcla de hormigón, se observa una reducción en la capacidad de transmitir el calor a través del material. Esto se debe a que el caucho reciclado tiene una menor conductividad térmica en comparación con los agregados convencionales utilizados en el hormigón.

Al mismo tiempo, la presencia de partículas de caucho en la mezcla promueve una mayor porosidad en el material, lo cual contribuye a una menor transferencia de calor. En conjunto, estos efectos conducen a una disminución en la conductividad térmica de las probetas de hormigón con mayor contenido de caucho [62].

La relación entre la conductividad térmica y el porcentaje de caucho en la mezcla de hormigón se explica mediante la combinación de dos efectos simultáneos.

En primer lugar, el caucho reciclado tiene una conductividad térmica más baja que los agregados convencionales que reemplaza en la mezcla. Esto significa que el caucho tiene una capacidad inferior para conducir el calor a través del material.

En segundo lugar, la presencia de partículas de caucho en la mezcla contribuye al confinamiento de aire en el interior del hormigón. El aire atrapado en los espacios entre las partículas de caucho actúa como un aislante térmico adicional, reduciendo la transferencia de calor a través del material [64].

El objetivo de este experimento inicial es analizar la evolución de la conductividad térmica en probetas de laboratorio. Los resultados obtenidos en las envolventes reales (suelos, paredes, techos) son consistentes con esos estudios anteriores.

Aunque se están evaluando magnitudes diferentes, los resultados obtenidos en las celdas construidas con técnicas constructivas habituales y elementos fabricados de manera similar a los productos comerciales respaldan y son coherentes con los resultados de las probetas de laboratorio.

Esto demuestra que la solución propuesta es factible en un contexto industrial y valida la relación entre la conductividad térmica y el contenido de caucho en la mezcla de hormigón tanto a nivel de laboratorio como en aplicaciones prácticas.

## 1.1. ARTÍCULO PUBLICADO

De la ejecución de este ensayo y del estudio y discusión de sus resultados se logró la publicación de un artículo técnico en la revista "Construction and Buildings Materials" que se adjunta completo como anexo 1 en este documento bajo el título "Thermal Behaviour of Hollow Blocks and Bricks Made of Concrete Doped with Waste Tyre Rubber" en el año 2018.



Ilustración 73 - Portada de la publicación del artículo en la revista "Construction and Buildings materials"

## 2. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN PROBETAS DE MORTERO DOPADO CON HUESO DE OLIVA

### 2.1. CONOS DE ABRAMS

Los resultados del asentamiento producido por el ensayo de Cono de Abrams para todas las amasadas sometidas al posterior ensayo de conductividad son las siguientes:

DOPADO	Asentamiento del Cono de Abrams		
	Cemento 32,5	Cemento 42,5	Cemento 52,5
M-0	4 cm	2,5 cm	1 cm
M-5	5 cm	2,5 cm	0,5 cm
M-10	2,5 cm	2,75 cm	2 cm
M-15	3 cm	3 cm	9 cm
M-20	4 cm	2 cm	8 cm
M-25	6,5 cm	4 cm	1 cm
M-30	3,5 cm	4 cm	2 cm

Tabla 76 - Resultados de los conos de Abrams realizados a las distintas amasadas

Como se puede observar en la tabla, los valores son dispares (debido a la dificultad de realizar muestras equivalentes) pero todas generan resultados similares siendo la media global de 3,46 cm.

- 4,07cm para el cemento 32,5
- 2,96cm para el cemento 42,5
- 3,46cm para el mortero 52,5

Se trata de una consistencia fundamentalmente plástica que es lo que se busca para la fabricación posterior de ladrillos.

## 2.2. VALORES OBTENIDOS DE CONDUCTIVIDAD

Los resultados del ensayo térmico para los cementos 32,5, 42,5 y 52,5 se presentan en la siguiente tabla.

Cada valor en la tabla representa la media aritmética de los resultados obtenidos de dos probetas realizadas para cada tipo de cemento y sus respectivos porcentajes de dopado.

Dopado	Cemento 32,5	Cemento 42,5	Cemento 52,5
M-0	1,22	1,14	1,17
M-5	0,86	0,83	0,91
M-10	0,92	0,83	1
M-15	0,93	0,82	0,79
M-20	0,54	0,9	0,67
M-25	0,67	0,79	0,86
M-30	0,55	0,62	0,65

Tabla 77 - Valores obtenidos de conductividad  $\lambda_{10}$  para los distintos cementos y dopajes.

Siendo  $\lambda_{10}$  la conductividad térmica del material de mortero a una temperatura de placa fría de 10°C.

## 2.3. CURVA DE REGRESIÓN POLINÓMICA

Con los datos obtenidos de las probetas térmicas se plantea la unificación de todos ellos en una curva de regresión polinómica de tercer grado que permita predecir el valor de la conductividad térmica ( $\lambda_{10}$ ) en función del porcentaje de dopaje de triturado de hueso de oliva.

En este sentido, cabe recordar que la regresión polinómica de tercer grado es el ajuste (por el método de mínimos cuadrados) a una curva con la siguiente expresión:

$$y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$$

Donde a, b, c y d son los coeficientes paramétricos de la ecuación a calcular.

Para obtener esta ecuación, se emplea el promedio de todas las conductividades térmicas obtenidas de las probetas con el mismo porcentaje de dopaje de orujillo (cemento 32.5, 42.5 y 52.5).

En la siguiente tabla se ven los resultados obtenidos:

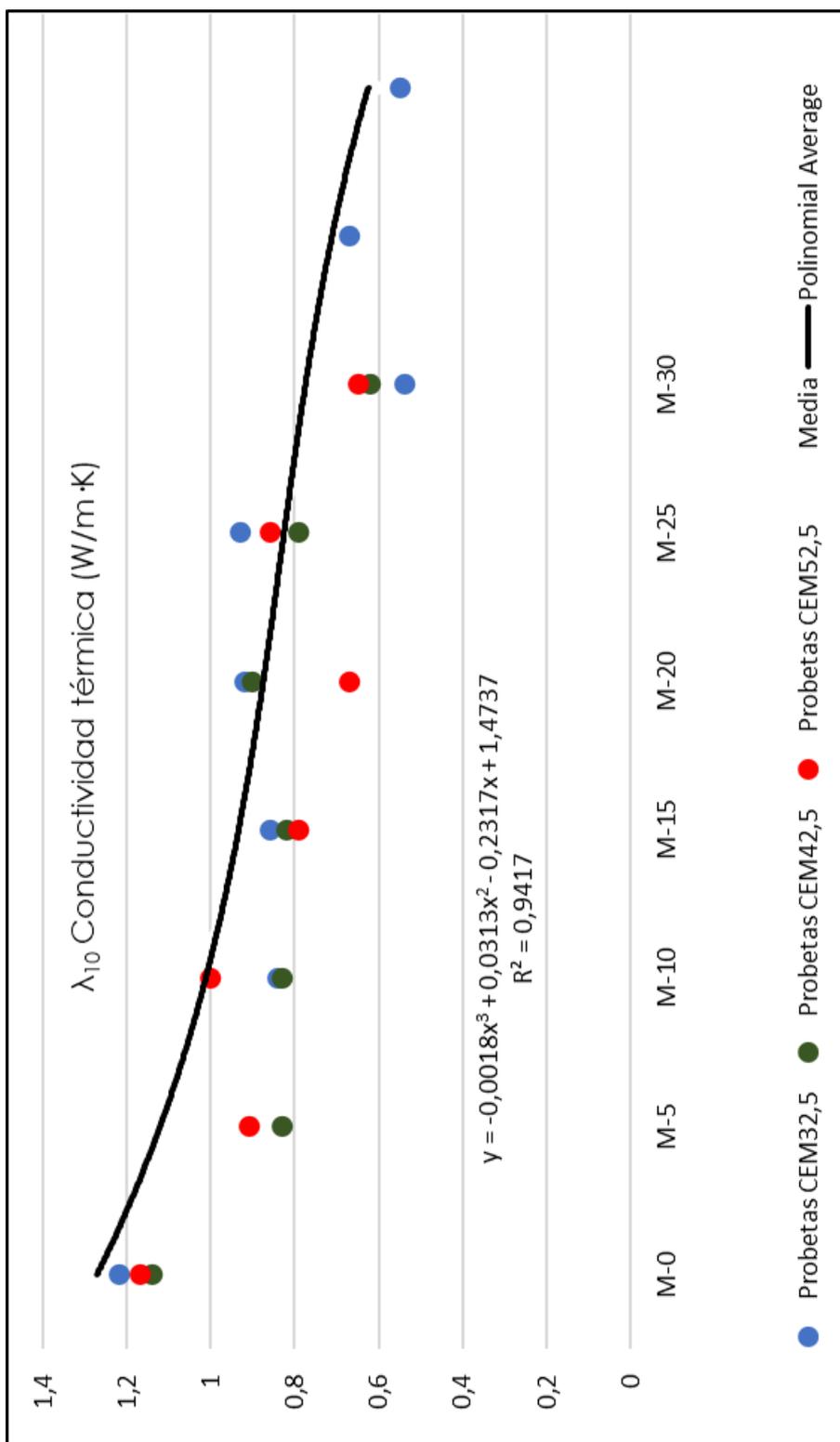


Ilustración 74 - Curva de regresión polinómica de tercer grado con los resultados

La ecuación que permite aproximarse a la conductividad térmica ( $\lambda_{10}$ ) del mortero en función de su porcentaje de dopaje de huesillo de oliva es la siguiente:

$$\lambda_{10} = -0,0018 \cdot x^3 + 0,0313 \cdot x^2 - 0,2317 \cdot x + 1,4737$$

Donde  $x$  es el porcentaje de huesillo de oliva añadido a la mezcla calculado de la siguiente forma:

$$x = \frac{\% \text{ huesillo en mezcla}}{5} + 1$$

Con esta expresión se obtienen los valores que aparecen en la tabla de la siguiente página.

## 2.4. COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN $R^2$

El coeficiente de determinación  $R^2$  proporciona una medida de cuánta variabilidad en la variable de respuesta es explicada por el modelo, siendo un parámetro muy útil para evaluar la calidad de ajuste de un modelo de regresión y su capacidad para hacer predicciones.

Se trata de una medida estadística que indica la proporción de la variabilidad total en la variable de respuesta que es explicada por la variabilidad en una o más variables predictoras en un modelo estadístico, como en el caso de la regresión.

$R^2$  se calcula como la proporción de la suma de cuadrados de la regresión dividida por la suma total de cuadrados. Un valor de  $R^2$  cercano a 1 indica que una gran proporción de la variabilidad en la variable de respuesta ha sido explicada por el modelo, mientras que un valor cercano a 0 indica que el modelo no explica bien la variabilidad.

Se puede decir, por tanto, que la potencia predictiva relativa de un modelo polinómico está denotada por el valor de  $R^2$  (también conocido como coeficiente de determinación) que varía entre 0 y 1 y es una medida estadística de como de cerca están los datos de la regresión ajustada.

Cuanto más cercano el valor esté de 1, en general más preciso será el modelo ya que cuanto mayor es el  $R^2$ , mejor se ajusta el modelo a los datos.

En el objeto de estudio este valor es de 0,9417.

% Hueso Oliva	$\lambda_{10}$	% Reducción
0%	1,254	
1%	1,202	4,12%
2%	1,158	7,60%
3%	1,120	10,62%
4%	1,087	13,28%
5%	1,057	15,66%
6%	1,030	17,81%
7%	1,006	19,77%
8%	0,983	21,58%
9%	0,962	23,25%
10%	0,942	24,81%
11%	0,924	26,27%
12%	0,907	27,64%
13%	0,891	28,93%
14%	0,876	30,15%
15%	0,861	31,31%
16%	0,847	32,41%
17%	0,834	33,46%
18%	0,822	34,46%
19%	0,809	35,42%
20%	0,798	36,34%
21%	0,787	37,23%
22%	0,776	38,08%
23%	0,766	38,90%
24%	0,756	39,69%
25%	0,746	40,46%
26%	0,737	41,20%
27%	0,728	41,92%
28%	0,719	42,61%
29%	0,711	43,29%
30%	0,703	43,94%

Tabla 78 - Resumen de valores obtenidos de la ecuación polinómica para  $\lambda_{10}$  y % de reducción sobre mortero sin dopar

### 3. RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

#### 3.1. SIMULACIÓN ENERGÉTICA ZONA CLIMÁTICA A – ALMERÍA

		Zona Climática A - ALMERÍA									
		Ladrillo GERO de mortero 25x11,5x10 PERFORADO - Fachada de 26cm									
		Perforado Sin Dopar $\lambda=1,09$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=0,804$	Perforado Dopado 5% $\lambda=0,676$	Perforado Dopado 10% $\lambda=0,603$	Perforado Dopado 15% $\lambda=0,551$	Perforado Dopado 20% $\lambda=0,510$	Perforado Dopado 25% $\lambda=0,477$	Perforado Dopado 30% $\lambda=0,449$		
	Demanda (kwh/año)	8468	8239,7	8014,4	7868,8	7762,6	7671,6	7593,9	7521	7459,1	
	Refrigeración	23987,7	23969,1	23952,8	23940,1	23930,8	23924,7	23918,9	23915,4	23905,9	
	Calefacción	12609,2	12290,1	11962,1	11758,3	11605,3	11484,1	11370,7	11262,1	11180,9	
	Consumo de energía final (kwh/año)	11994,3	11985	11976,9	11970,5	11965,9	11962,8	11960	11958,2	11953,5	
	Consumo de energía primaria (kwh/año)	15005	14625,2	14236,9	13992,4	13810,4	13666	13531,2	13401,9	13305,2	
	Refrigeración	23436,8	23418,8	23402,9	23390,4	23381,3	23375,4	23369,8	23366,4	23357,1	
	Calefacción	3177,5	3097,1	3014,4	2963,1	2924,6	2854	2865,4	2838,1	2817,6	
	Emisiones CO2 (kgCO2/año)	3970,1	3967,1	3964,4	3962,3	3960,7	3959,7	3958,8	3958,2	3956,6	

Tabla 79 - Resultados de la simulación energética HULC en Almería (Zona A)

Ahorro demanda conjunta calefacción y refrigeración (kWh/año)										399,9	515,4	612,5	696	772,4	843,8
Superficie útil del edificio (m <sup>2</sup> )										1552					
Superficie de Fachadas (m <sup>2</sup> )										988,52					
PCI Hueso de aceituna (KWh/kg)										4,489					

Zona Climática A - ALMERÍA										
Ladrillo GERO de mortero 25x11,5x10 PERFORADO - Fachada de 26cm										
	Macizo Sin Dopar $\lambda=1,714$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=1,09$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=0,804$	Perforado Dopado 5% $\lambda=0,676$	Perforado Dopado 10% $\lambda=0,603$	Perforado Dopado 15% $\lambda=0,551$	Perforado Dopado 20% $\lambda=0,510$	Perforado Dopado 25% $\lambda=0,477$	Perforado Dopado 30% $\lambda=0,449$	
Cantidad de hueso aceituna m <sup>2</sup> fachada (kg/m <sup>2</sup> )	0	0	0	4,27	8,65	12,73	17,01	21,25	26,69	
Total hueso de aceituna en fachadas (kg)	0	0	0	4220,296	8546,297	12579,81	16817,554	21008,183	26383,85	
Energía por combustión del hueso de aceituna (KWh)	0	0	0	18944,91	38364,33	56470,76	75494,001	94305,734	118437,1	
Energía útil con rendimiento (kWh):	0	0	0	14208,68	28773,24	42353,07	56620,501	70729,301	88827,826	
	75%									

	SOLO CALEFACCIÓN	SOLO REFRIGERACION	CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN
Periodo de recuperación de energía en fachada (años)	38	490	36
Periodo de recuperación de energía en fachada (años)	75	954	69
Periodo de recuperación de energía en fachada (años)	60	751	56
Periodo de recuperación de energía en fachada (años)	88	1128	81
Periodo de recuperación de energía en fachada (años)	98	1317	92
Periodo de recuperación de energía en fachada (años)	114	1406	105

Tabla 80 - Periodos de recuperación de energía en Almería (Zona A)

### 3.2. SIMULACIÓN ENERGÉTICA ZONA CLIMÁTICA B – SEVILLA

Zona climática B - SEVILLA															
Ladrillo GERO de mortero 25x11,5x10 PERFORADO - Fachada de 26cm															
	Macizo Sin Dopar $\lambda=1,714$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=1,09$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=0,804$ HULC	Perforado Dopado 5% $\lambda=0,676$	Perforado Dopado 10% $\lambda=0,603$	Perforado Dopado 15% $\lambda=0,551$	Perforado Dopado 20% $\lambda=0,510$	Perforado Dopado 25% $\lambda=0,477$	Perforado Dopado 30% $\lambda=0,449$						
Demanda (kWh/año)	Calefacción	17337,9	17055,6	16780,6	16599,3	16459,2	16257,9	16168	16073,6						
	Refrigeración	23897,3	23896,4	23889,9	23883,7	23884,7	23867,8	23866	23872						
Consumo de energía final (kWh/año)	Calefacción	24673,4	24309,4	23940,6	23705	23527,5	23258,5	23137	23013,5						
	Refrigeración	11949,1	11948,8	11945,5	11942	11942,8	11934,5	11933,6	11936,6						
Consumo de energía primaria (kWh/año)	Calefacción	29361,4	28928,2	28489,3	28208,9	27997,8	27677,6	27533	27386,1						
	Refrigeración	23348,6	23347,9	23341,6	23335,2	2336,2	23320	23318,3	23324,1						
Emisiones CO2 (kgCO2/año)	Calefacción	6217,7	6126	6033	5973,7	5928,9	5861,1	5830,7	5799,4						
	Refrigeración	3955,2	3955,1	3954	3952,9	3953,1	3950,3	3950	3951						
Ahorro energético demanda de calefacción (kWh/año)											456,3	695	797,7	887,6	982
Ahorro energético demanda de refrigeración (kWh/año)											12,7	25	28,6	30,4	24,4
Ahorro demanda conjunta calefacción y refrigeración (kWh/año)											469	720	826,3	918	1006,4

Tabla 81 - Resultados de la simulación energética HULC en Sevilla (Zona B)

Superficie útil del edificio (m <sup>2</sup> )	1552
Superficie de Fachadas (m <sup>2</sup> )	988,52
PCI Hueso de aceituna (KWh/kg)	4,489

Zona climática B - SEVILLA											
Ladrillo GERO de mortero 25x11,5x10 PERFORADO - Fachada de 26cm											
	Macizo Sin Dopar $\lambda=1,714$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=0,804$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=0,804$	Perforado Dopado 5% $\lambda=0,676$	Perforado Dopado 10% $\lambda=0,603$	Perforado Dopado 15% $\lambda=0,551$	Perforado Dopado 20% $\lambda=0,510$	Perforado Dopado 25% $\lambda=0,477$	Perforado Dopado 30% $\lambda=0,449$		
Cantidad de hueso aceituna m <sup>2</sup> fachada (kg/m <sup>2</sup> )	0	0	0	4,27	8,65	12,73	17,01	21,25	26,69		
Total hueso de aceituna en fachadas (kg)	0	0	0	4220,296	8546,297	12579,81	16817,554	21008,183	26383,85		
Energía por combustión del hueso de aceituna (KWh)	0	0	0	18944,91	38364,33	56470,76	75494,001	94305,734	118437,1		
Energía útil con rendimiento (kWh):	0	0	0	14208,68	28773,24	42353,07	56620,501	70729,301	88827,826		
Período de recuperación de energía en fachada (años) SOLO CALEFACCIÓN				31	48	61	71	80	90		
Período de recuperación de energía en fachada (años) SOLO REFRIGERACION				1119	2459	1694	1980	2327	3640		
Período de recuperación de energía en fachada (años) CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN				30	47	59	69	77	88		

Tabla 82 - Periodos de recuperación de energía en Sevilla (Zona B)

### 3.3. SIMULACIÓN ENERGÉTICA ZONA CLIMÁTICA C – BARCELONA

Zona Climática C - BARCELONA											
Ladrillo GERO de mortero 25x11,5x10 PERFORADO - Fachada de 26cm											
	Macizo Sin Dopar $\lambda=1,714$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=1,09$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=0,804$	Perforado Dopado 5% $\lambda=0,676$	Perforado Dopado 10% $\lambda=0,603$	Perforado Dopado 15% $\lambda=0,551$	Perforado Dopado 20% $\lambda=0,510$	Perforado Dopado 25% $\lambda=0,477$	Perforado Dopado 30% $\lambda=0,449$		
Demanda (kWh/año)	Calefacción	29157,2	28907	28645	28463,8	28338,5	28229,6	28129,6	28029,4	27947,2	
	Refrigeración	4625,9	4629,9	4638	4641,6	4645,3	4647,9	4646	4652	4655	
Consumo de energía final (kWh/año)	Calefacción	41121,5	40766,2	40421	40199,2	40025	39843,4	39707,2	39590	39490	
	Refrigeración	2313,2	2315,2	2319,3	2321	2322,9	2324,2	2323,2	2326	2327,7	
Consumo de energía primaria (kWh/año)	Calefacción	48934,6	48511,7	48101	47837,1	47629,8	47413,7	47251,6	47112,1	46993,1	
	Refrigeración	4519,9	4524	4531,9	4535,2	4538,9	4541,5	4539,6	4545,5	4548,4	
Emisiones CO2 (kgCO2/año)	Calefacción	10362,6	102743,1	10186,1	10130,2	10086,3	10040,5	10006,2	9976,7	9951,5	
	Refrigeración	765,7	766,3	767,7	768,2	768,9	769,3	769,8	770	770,5	
Ahorro energético de demanda de calefacción (kWh/año)											
443,2											
Ahorro energético de demanda de refrigeración (kWh/año)											
-11,7											
Ahorro demanda conjunta calefacción y refrigeración (kWh/año)											
431,5											
Ahorro demanda conjunta calefacción y refrigeración (kgCO2/año)											
761,3											
Ahorro demanda conjunta calefacción y refrigeración (kgCO2/año)											
855,5											
Ahorro demanda conjunta calefacción y refrigeración (kgCO2/año)											
934,7											

Tabla 83 - Resultados de la simulación energética HULC en Barcelona (Zona C)

		Zona Climática C - BARCELONA									
		Ladrillo GERO de mortero 25x11,5x10 PERFORADO - Fachada de 26cm									
		Macizo Sin Dopar $\lambda=1,714$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=1,09$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=0,804$	Perforado Dopado 5% $\lambda=0,676$	Perforado Dopado 10% $\lambda=0,603$	Perforado Dopado 15% $\lambda=0,551$	Perforado Dopado 20% $\lambda=0,510$	Perforado Dopado 25% $\lambda=0,477$	Perforado Dopado 30% $\lambda=0,449$	
Superficie útil del edificio (m <sup>2</sup> )	1552										
Superficie de Fachadas (m <sup>2</sup> )	988,52										
PCI Hueso de aceituna (KWh/kg)	4,489										
Cantidad de hueso aceituna m <sup>2</sup> fachada (kg/m <sup>2</sup> )		0	0	0	4,27	8,65	12,73	17,01	21,25	26,69	
Total hueso de aceituna en fachadas (kg)		0	0	0	4220,296	8546,297	12579,81	16817,554	21008,183	26383,85	
Energía por combustión del hueso de aceituna (KWh)		0	0	0	18944,91	38364,33	56470,76	75494,001	94305,734	118437,1	
Energía útil con rendimiento (kWh): 75%		0	0	0	14208,68	28773,24	42353,07	56620,501	70729,301	88827,826	
Periodo de recuperación de energía en fachada (años) SOLO CALEFACCIÓN				32	51	63	73	81	93		
Periodo de recuperación de energía en fachada (años) SOLO REFRIGERACION				-1214	-1868	-2353	-3517	-3200	-3539		
Periodo de recuperación de energía en fachada (años) CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN				33	52	64	74	83	95		

Tabla 84 - Periodos de recuperación de energía en Barcelona (Zona C)

### 3.4. SIMULACIÓN ENERGÉTICA ZONA CLIMÁTICA D – LOGROÑO

Zona Climática D-LOGROÑO										
Ladrillo GERO de mortero 25x11,5x10 PERFORADO - Fachada de 26cm										
	Macizo Sin Dopar $\lambda=1,714$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=1,09$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=0,804$	Perforado Dopado 5% $\lambda=0,676$	Perforado Dopado 10% $\lambda=0,603$	Perforado Dopado 15% $\lambda=0,551$	Perforado Dopado 20% $\lambda=0,510$	Perforado Dopado 25% $\lambda=0,477$	Perforado Dopado 30% $\lambda=0,449$	
Demanda (kWh/año)	Calefacción	40939,7	40710,3	40472,1	40325,9	40208,4	40112,4	40010,6	39923,7	39838,4
	Refrigeración	5127,1	5130,9	5137,4	5134	5137,2	5138,9	5140,1	5145	5144,2
Consumo de energía final (kWh/año)	Calefacción	56109,9	55803,2	55501,7	55330,6	55176	55053,5	54932	54814,7	54707,9
	Refrigeración	2563,8	2565,8	2569	2567,6	2568,9	2569,7	2570,3	2572,7	2572,4
Consumo de energía primaria (kWh/año)	Calefacción	66770,8	66405,8	66047	65843,4	65659,4	65513,7	65369	65229,5	65102,4
	Refrigeración	5009,7	5013,5	5019,9	5017,1	5019,6	5021,3	5022	5027,1	5026,4
Emisiones CO2 (kgCO2/año)	Calefacción	14139,7	14062,4	13986,4	13943,3	13906,4	13873,5	13842,9	13813,3	13786,4
	Refrigeración	848,6	849,3	850,4	849,9	850,3	850,6	850,8	851,3	851,5
Ahorro energético demanda de calefacción (kWh/año)										
384,4										
Ahorro energético demanda de refrigeración (kWh/año)										
-3,1										
Ahorro demanda conjunta calefacción y refrigeración (kWh/año)										
381,3										
Ahorro energético demanda de calefacción (kWh/año)										
501,9										
Ahorro energético demanda de refrigeración (kWh/año)										
-6,3										
Ahorro demanda conjunta calefacción y refrigeración (kWh/año)										
495,6										
Ahorro energético demanda de calefacción (kWh/año)										
597,9										
Ahorro energético demanda de refrigeración (kWh/año)										
-8										
Ahorro demanda conjunta calefacción y refrigeración (kWh/año)										
690,5										
Ahorro energético demanda de calefacción (kWh/año)										
699,7										
Ahorro energético demanda de refrigeración (kWh/año)										
-14,1										
Ahorro demanda conjunta calefacción y refrigeración (kWh/año)										
772,5										
Ahorro energético demanda de calefacción (kWh/año)										
786,6										
Ahorro energético demanda de refrigeración (kWh/año)										
-13,3										
Ahorro demanda conjunta calefacción y refrigeración (kWh/año)										
858,6										

Tabla 85 - Resultados de la simulación energética HULC en Logroño (Zona D)

		Zona Climática D-LOGROÑO									
		Ladrillo GERO de mortero 25x11,5x10 PERFORADO - Fachada de 26cm									
		Macizo Sin Dopar $\lambda=1,714$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=1,09$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=0,804$	Perforado Dopado 5% $\lambda=0,676$	Perforado Dopado 10% $\lambda=0,603$	Perforado Dopado 15% $\lambda=0,551$	Perforado Dopado 20% $\lambda=0,510$	Perforado Dopado 25% $\lambda=0,477$	Perforado Dopado 30% $\lambda=0,449$	
Superficie útil del edificio (m2)	1552										
Superficie de Fachadas (m2)	988,52										
PCI Hueso de aceituna (KWh/kg)	4,489										
Cantidad de hueso aceituna m2 fachada (kg/m2)		0	0	0	4,27	8,65	12,73	17,01	21,25	26,69	
Total hueso de aceituna en fachadas (kg)		0	0	0	4220,296	8546,297	12579,81	16817,554	21008,183	26383,85	
Energía por combustión del hueso de aceituna (KWh)		0	0	0	18944,91	38364,33	56470,76	75494,001	94305,734	118437,1	
Energía útil con rendimiento (kWh): 75%		0	0	0	14208,68	28773,24	42353,07	56620,501	70729,301	88827,826	
Periodo de recuperación de energía en fachada (años) SOLO CALEFACCIÓN				37	57	71	81	90	102		
Periodo de recuperación de energía en fachada (años) SOLO REFRIGERACION				-4583	-4567	-5294	-6154	-5016	-6679		
Periodo de recuperación de energía en fachada (años) CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN				37	58	72	82	92	103		

Tabla 86 - Periodos de recuperación de energía en Logroño (Zona D)

### 3.5. SIMULACIÓN ENERGÉTICA ZONA CLIMÁTICA E – SORIA

Zona Climática E-SORIA											
Ladrillo GERO de mortero 25x11,5x10 PERFORADO - Fachada de 26cm											
	Macizo Sin Dopar $\lambda=1,714$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=1,09$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=0,804$ HULC	Perforado Dopado 5% $\lambda=0,676$	Perforado Dopado 10% $\lambda=0,603$	Perforado Dopado 15% $\lambda=0,551$	Perforado Dopado 20% $\lambda=0,510$	Perforado Dopado 25% $\lambda=0,477$	Perforado Dopado 30% $\lambda=0,449$		
Demanda (kWh/año)	Calefacción	54179,3	53924	53476	53347,9	53245,3	53124,4	53026	52917,5		
	Refrigeración	464,9	467,8	473	476,9	477,4	479,3	481,2	483,5		
Consumo de energía final (kWh/año)	Calefacción	72966	72635	72078,5	71898,4	71773,3	71643,3	71521,8	7138,62		
	Refrigeración	232	234	237	238,4	238,8	238,8	240,7	241,9		
Consumo de energía primaria (kWh/año)	Calefacción	86830	86435	85773,4	85559,1	85410,2	85255,5	85111	84949,2		
	Refrigeración	414	457	463	465,6	466,7	468,5	470,3	472,6		
Emisiones CO2 (kgCO2/año)	Calefacción	18387,5	18304	18163,8	18118,1	18806,9	18054,1	18023,5	17989,3		
	Refrigeración	77	77	78,4	78,9	79,1	79,4	79,7	80,1		
Ahorro energético demanda de calefacción (kWh/año)											
Ahorro energético demanda de refrigeración (kWh/año)											
Ahorro demanda conjunta calefacción y refrigeración (kWh/año)											

Tabla 87 - Resultados de la simulación energética HULC en Soria (Zona E)

		Zona Climática E-SORIA									
		Ladrillo GERO de mortero 25x11,5x10 PERFORADO - Fachada de 26cm									
		Macizo Sin Dopar $\lambda=1,714$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=1,09$ HULC	Perforado Sin Dopar $\lambda=0,804$	Perforado Dopado 5% $\lambda=0,676$	Perforado Dopado 10% $\lambda=0,603$	Perforado Dopado 15% $\lambda=0,551$	Perforado Dopado 20% $\lambda=0,510$	Perforado Dopado 25% $\lambda=0,477$	Perforado Dopado 30% $\lambda=0,449$	
Superficie útil del edificio (m <sup>2</sup> )	1552										
Superficie de Fachadas (m <sup>2</sup> )	988,52										
PCI Hueso de aceituna (KWh/kg)	4,489										
Cantidad de hueso aceituna m <sup>2</sup> fachada (kg/m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	4,27	8,65	12,73	17,01	21,25	26,69	
Total hueso de aceituna en fachadas (kg)	0	0	0	0	4220,296	8546,297	12579,81	16817,554	21008,183	26383,85	
Energía por combustión de l hueso de aceituna (KWh)	0	0	0	0	18944,91	38364,33	56470,76	75494,001	94305,734	118437,1	
Energía útil con rendimiento (kWh):	75%	0	0	0	14208,68	28773,24	42353,07	56620,501	70729,301	88827,826	
Periodo de recuperación de energía en fachada (años) SOLO CALEFACCIÓN					32	50	62	71	79	88	
Periodo de recuperación de energía en fachada (años) SOLO REFRIGERACION					-2732	-3162	-4412	-4924	-5278	-5658	
Periodo de recuperación de energía en fachada (años) CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN					32	51	63	72	80	90	

Tabla 88 - Periodos de recuperación de energía en Soria (Zona E)

### 3.6. RESUMEN DE AHORRO ENERGÉTICO EN DEMANDA CONJUNTA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

A continuación, se muestra un resumen de los resultados de ahorro energético en la demanda conjunta de calefacción y refrigeración en las 5 zonas climáticas por año para el conjunto del edificio simulado:

	Ahorro energético demanda conjunta calefacción y refrigeración (kWh por año)					
	Perforado Dopado 5% $\lambda=0,676$	Perforado Dopado 10% $\lambda=0,603$	Perforado Dopado 15% $\lambda=0,551$	Perforado Dopado 20% $\lambda=0,510$	Perforado Dopado 25% $\lambda=0,477$	Perforado Dopado 30% $\lambda=0,449$
Zona Climática A - ALMERÍA	399,9	515,4	612,5	696,0	772,4	843,8
Zona Climática B - SEVILLA	469,0	608,1	720,0	826,3	918,0	1006,4
Zona Climática C - BARCELONA	431,5	553,1	659,4	761,3	855,5	934,7
Zona Climática D-LOGROÑO	381,3	495,6	589,9	690,5	772,5	858,6
Zona Climática E-SORIA	442,8	567,0	669,1	788,1	884,6	990,8
<b>Superficie total de fachada reemplazada: 988,52 m<sup>2</sup></b>						

Tabla 89 - Ahorro energético anual total (988,52m<sup>2</sup> de fachada) por incorporación de dopado de hueso de oliva por zonas climáticas

Como se puede observar el ahorro energético en la demanda térmica conjunta de calefacción y refrigeración (kWh y año) es superior en los mayores porcentajes dopados.

Por el contrario, también es superior la cantidad de hueso de oliva que se debe incorporar al mortero.

La ratio de ahorro energético medio (5 zonas climáticas) en la demanda térmica conjunta de calefacción y refrigeración por m<sup>2</sup> de fachada construido tipo SATE con la sustitución del ladrillo GERO perforado sin dopar por otros equivalentes y dopados con los distintos porcentajes estudiados es la siguiente:

	Perforado Dopado 5%	Perforado Dopado 10%	Perforado Dopado 15%	Perforado Dopado 20%	Perforado Dopado 25%	Perforado Dopado 30%
Valores medios de ahorro energético por m <sup>2</sup> de fachada	0,430	0,554	0,658	0,761	0,850	0,938

*Tabla 90 - Ahorro energético medio en demanda conjunta de calefacción y refrigeración por m<sup>2</sup> de fachada (kWh/m<sup>2</sup> y año) por incorporación de dopado de hueso de oliva*

Se calcula a continuación la cantidad energía que se podría obtener si en lugar de incorporar el hueso de oliva triturado al ladrillo GERO se procediera a su combustión en una caldera de biomasa.

Se utiliza un valor de poder calorífico inferior para el triturado de hueso de oliva de 4,489 kWh/kg según el documento "Poderes caloríficos inferiores de las principales fuentes energéticas" del IDAE-Instituto español para la diversificación y ahorro de energía y se plantea un rendimiento de energía útil del 75% en la combustión cuantificando de esta manera pérdidas en la caldera y en la distribución del calor[3].

Teniendo en cuenta la cantidad de hueso de oliva que se añade a cada tipología de mortero se obtienen los siguientes valores de energía calorífica útil:

	TIPO DE MORTERO DOPADO					
	M-5	M-10	M-15	M-20	M-25	M-30
Superficie fachada: 988,52 m <sup>2</sup>	4,27	8,65	12,73	17,01	21,25	26,69
Cantidad de hueso aceituna m <sup>2</sup> fachada (kg/m <sup>2</sup> )	4220,30	8546,30	12579,81	16817,55	21008,18	26383,85
Total hueso de aceituna en fachadas (kg)						
	<b>ENERGÍA OBTENIDA POR COMBUSTIÓN DE HUESO DE ACEITUNA (kWh)</b>					
PCI Hueso de aceituna (KWh/kg): 4,489	M-5	M-10	M-15	M-20	M-25	M-30
Energía de combustión PCI hueso de aceituna (KWh):	18944,91	38364,33	56470,76	75494,00	94305,73	118437,10
Energía útil con rendimiento combustión 75% (kWh):	<b>14208,68</b>	<b>28773,24</b>	<b>42353,07</b>	<b>56620,50</b>	<b>70729,30</b>	<b>88827,83</b>

Tabla 91 - Energía útil equivalente por combustión de triturado de hueso de oliva

Por último, se plantea el tiempo de recuperación de la energía de combustión con el ahorro en la disminución de la demanda conjunta de calefacción y refrigeración en el mortero dopado.

Se obtienen los siguientes valores que se pueden ver en la gráfica:

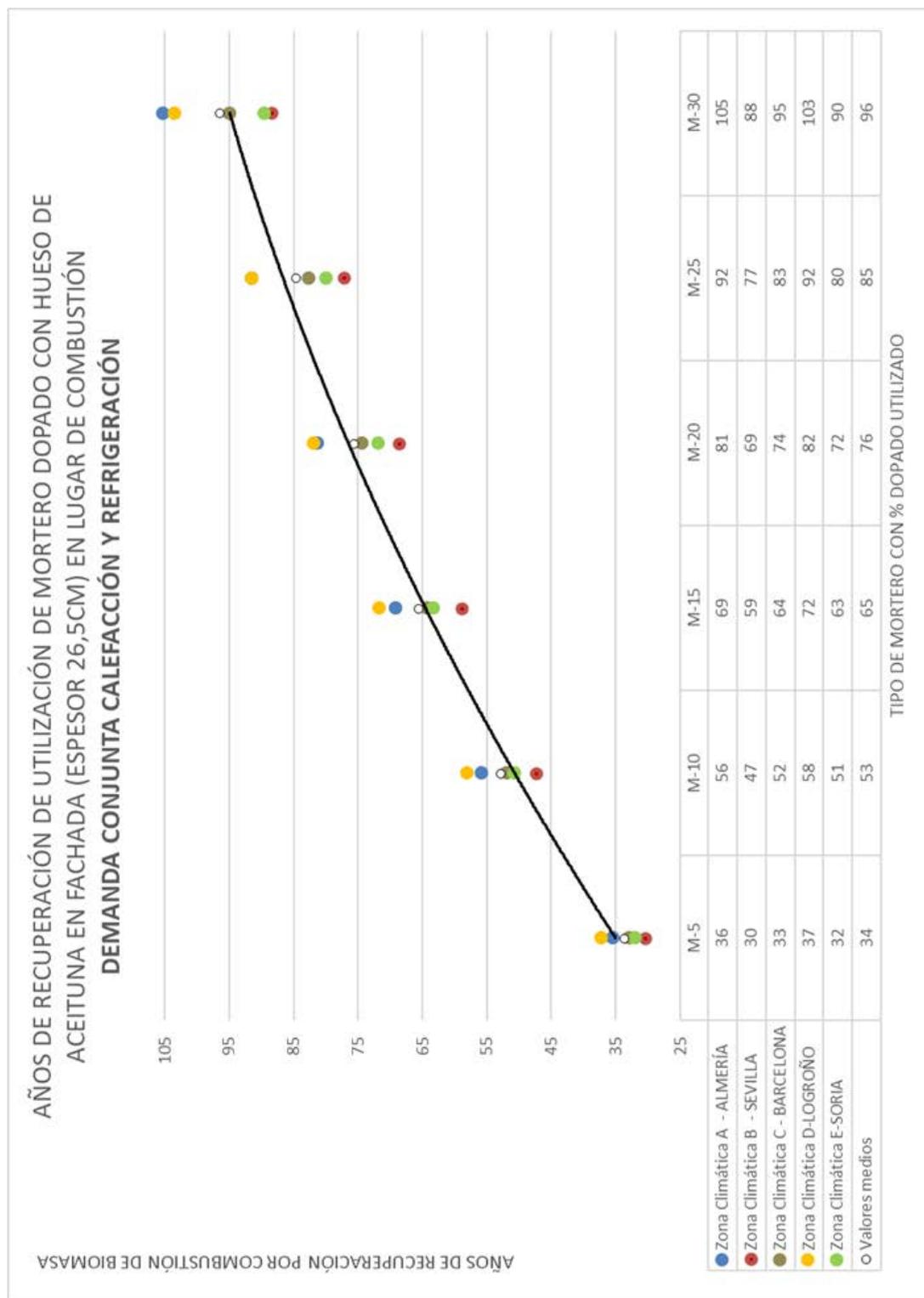


Ilustración 75 - Plazo de recuperación en años de incorporación de dopado de hueso de oliva a ladrillo en comparación con combustión de biomasa

Como se puede observar los mejores resultados se obtienen con un dopado entre el 5-15% donde el periodo de recuperación medio oscila entre los 30-70 años dentro del tiempo de vida útil de un edificio construido con las exigencias normativas actuales.

Porcentajes superiores al 15% obtienen un plazo de recuperación de la energía superior a 70 años por lo que no se consideran rentables energéticamente.

Se concluye, por tanto, que la adición de triturado de hueso de oliva para la confección de mortero dopado y su incorporación en ladrillos perforados para fachada permite recuperar dentro de la vida útil de un edificio la energía útil capaz de obtenerse mediante su combustión en una caldera de biomasa.

En este sentido, la ventaja del ahorro de energía viene complementada por el reciclaje de un residuo agrícola como es el hueso de oliva triturado.

### 3.7. ARTÍCULO PUBLICADO

De la ejecución de este ensayo y del estudio y discusión de sus resultados se logró la publicación de un artículo técnico en la revista "Buildings" que se adjunta completo como anexo 2 en este documento bajo el título "Alternative Use of the Waste from Ground Olive Stones in Doping Mortar Bricks for Sustainable Façades" en el año 2023.



Article

#### Alternative Use of the Waste from Ground Olive Stones in Doping Mortar Bricks for Sustainable Façades

Alejandro San Vicente-Navarro <sup>1</sup>, Manuel Mendivil-Giro <sup>2</sup>, Jorge Los Santos-Ortega <sup>1,\*</sup>,  
Esteban Fraile-García <sup>1</sup> and Javier Ferreiro-Cabello <sup>1</sup>

<sup>1</sup> SCoDIP Group, Department of Mechanical Engineering, University of La Rioja, 26004 Logroño, Spain; alejandro.san-vicente@unirioja.es (A.S.V.-N.); esteban.fraile@unirioja.es (E.F.-G.); javier.ferreiro@unirioja.es (J.F.-C.)

<sup>2</sup> GI-TENECO Group, Department of Mechanical Engineering, University of La Rioja, 26004 Logroño, Spain; manuel-antonio.mendivil@unirioja.es

\* Correspondence: jorge.los-santos@unirioja.es

**Abstract:** The aim of achieving sustainability in construction is a reality. A useful strategy to achieve this is the use of waste from agricultural activities. This waste could reduce the environmental impacts associated with the production of raw materials such as natural aggregate, reducing energy consumption from fossil fuels and therefore CO<sub>2</sub> emissions. This study examines the thermal conductivity of mortars doped with ground olive stones, a residual by-product of industrial processes. The objective is to evaluate the potential of ground olive stones to improve thermal insulation in construction. Ground olive stones are used as a partial replacement for the aggregates used in mortar bricks. The methodology followed herein to quantify the benefits of this product involves creating several types of mortar with a different percentage of ground olive stones in each sample (between 0% and 30%). Thermal conductivity was determined according to UNE-EN12939:2001. Finally, a

Ilustración 76 - Portada de la publicación del artículo en la revista "Buildings"

#### 4. RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA

Como ya se ha explicado, el análisis de sostenibilidad económica del ahorro energético generado por la utilización de ladrillos GERO dopados con un % de triturado de hueso de oliva en sustitución del ladrillo y mortero convencional con arena se realiza mediante el cálculo del VAN, así como del parámetro estático de amortización.

El VAN (Valor Actual Neto) determina mediante la actualización de los flujos de gastos e ingresos futuros del proyecto, menos la inversión inicial. El proyecto es viable si el resultado de esta operación es positivo.

Para los cálculos se utilizan dos horizontes temporales: 25 años y 50 años.

Asimismo, se utiliza una tasa de descuento del 0% teniendo en cuenta que no se pretende comparar esta inversión con otras posibles sino simplemente valorar que rendimiento en un determinado plazo de tiempo los ahorros económicos anuales derivados de los ahorros energéticos propiciados por la utilización a tiempo presente del hueso de oliva en lugar de utilizarlos con un precio inflacionado en el futuro.

El incremento del precio de las fuentes de energía utilizados (electricidad para la simulación de la aerotermia, gas natural para la caldera de condensación y hueso de oliva para la biomasa) es el parámetro más difícil de pronosticar a tiempo presente y teniendo en cuenta la evolución de los precios en los últimos años se opta por valorar un prudente incremento del 3% anual para todos ellos.

Con estos parámetros de entrada los resultados obtenidos son los siguientes:

## Recuperación económica del mortero dopado 5%

Fuente de energía	Sistema de climatización	Años para recuperación de la inversión	% Interés total obtenido a 25 años	% Interés total obtenido a 50 años
Electricidad	Aerotermia	13 años	6,98%	9,14%
Gas Natural	Caldera de condensación	11 años	9,51%	11,12%
Hueso de aceituna	Caldera de biomasa	19 años	2,75%	6,02%

Tabla 92 - *Resultados análisis económico con mortero dopado al 5%*

## Recuperación económica del mortero dopado 10%

Fuente de energía	Sistema de climatización	Años para recuperación de la inversión	% Interés total obtenido a 25 años	% Interés total obtenido a 50 años
Electricidad	Aerotermia	24 años	0,76%	4,72%
Gas Natural	Caldera de condensación	20 años	2,58%	5,95%
Hueso de aceituna	Caldera de biomasa	33 años	-2,47%	2,63%

Tabla 93 - *Resultados análisis económico con mortero dopado al 10%*

## Recuperación económica del mortero dopado 15%

Fuente de energía	Sistema de climatización	Años para recuperación de la inversión	% Interés total obtenido a 25 años	% Interés total obtenido a 50 años
Electricidad	Aerotermia	30 años	-1,76%	3,08%
Gas Natural	Caldera de condensación	26 años	-0,14%	4,13%
Hueso de aceituna	Caldera de biomasa	41 años	-4,09%	1,25%

Tabla 94 - *Resultados análisis económico con mortero dopado al 15%*

Hay que tener en cuenta que los valores obtenidos para % interés total a un determinado plazo de tiempo (25-50 años) son el TIR de la inversión por lo que se reflejan en % de ingresos totales de manera anual.

5. RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

5.1.1. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA AMBIENTAL DE LA CUNA A LA PUERTA - FASE DE PRODUCCIÓN 1M<sup>2</sup> FACHADA

En la siguiente figura se muestran los resultados obtenidos para el ACV-LCA de la cuna a la puerta para la producción de 1m<sup>2</sup> de fachada y su implementación en una edificación.

En el cual el m<sup>2</sup> de fachada está compuesto por dos capas de ladrillos tipo GERO.

Y donde el árido fino es reemplazado parcialmente por un árido vegetal y residual como es el triturado de hueso de oliva.

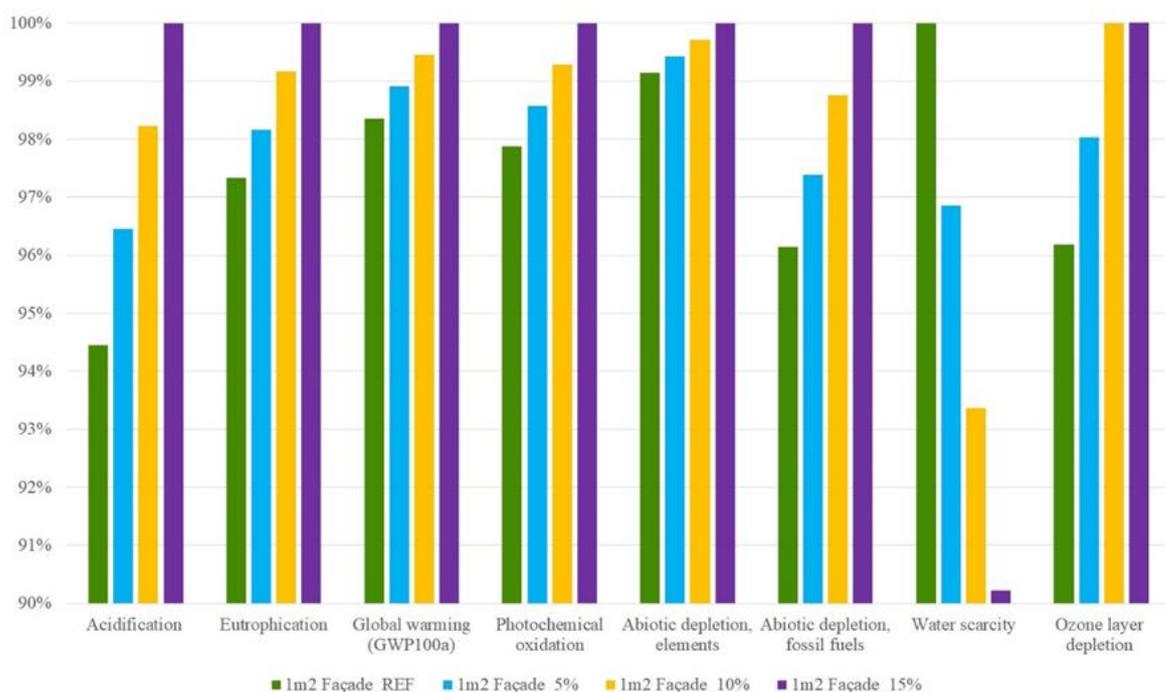


Ilustración 77 - Resultados ambientales de 1m<sup>2</sup> de fachada variando el porcentaje de dopaje del mortero empleado

Como se aprecia a medida que el porcentaje de triturado de hueso de oliva aumenta como sustitutivo del árido fino en el mortero, los impactos medioambientales también se incrementan.

Esto es evidente en todas las categorías de impacto excepto en la de “Escasez de Agua – Water Scarcity”. En esta categoría se observa un comportamiento inverso, es decir, a mayor cantidad de materia de triturado de hueso de aceituna menor impacto.

Se justifica, ya que la producción de áridos naturales conlleva el uso de gran cantidad de agua empleada para procesos internos de lavado, evitar producir polvo en canteras, filtrado, etc... Por lo tanto, si se disminuye la cantidad de árido natural a emplear en la mezcla se reduce el consumo de agua asociado.

Las alternativas con un porcentaje de dopado del 15% suponen una reducción del 8,21% del consumo de agua, lo que equivale a un ahorro de 0,50 m<sup>3</sup> de agua por cada metro cuadrado de fachada.

En la categoría de Potencial de Calentamiento Global (GWP), se produce un incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> del 4,10% para el caso de un dopado del 15% lo que equivale a emitir un valor de 0,545 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de fachada.

Estos incrementos son consecuencia directa de un mayor consumo de energía y recursos para dopar el mortero con hueso de aceituna. En categorías de impacto directamente ligadas con la producción de áridos naturales como son Acidificación, Eutrofización, Oxidación Fotoquímica, existen incrementos del 28,52%, 29,78%, 20,85% respectivamente entre la alternativa de referencia y la de dopado del 15%.

La justificación se debe a que el proceso de preparación del hueso de aceituna necesita de unas cantidades de consumos de energía y materiales (proceso de trituración, transporte). Sus impactos son superiores a la cantidad de árido natural que evita que se produzca, siendo el proceso del transporte crucial para la viabilidad de los áridos reciclados sobre los áridos naturales ya que en la ejecución del proceso de transporte se generan una serie de sustancias como son óxidos de nitrógeno (NOx) y óxidos de carbono (COx), así como la emisión de partículas sólidas que afectan a la capa de ozono.

Esto se revela en los resultados obtenidos en la categoría de Agotamiento de la Capa de Ozono. Por ejemplo, la alternativa con un porcentaje de dopaje del 15% supone un incremento del 8,90%.

Procedente también de los procesos de transporte surge mayor afección como por ejemplo a la categoría de Agotamiento abiótico, combustibles fósiles (ADFF). Resultándose un aumento del 7,69% entre opciones de dopado del 15% y la de referencia. Equivalente a un valor de 5,07 MJ por cada metro cuadrado de fachada que se edifique.

En el análisis de la cuna a la puerta, se obtiene que la utilización del hueso de aceituna en productos de mortero a emplear en fachadas de edificación produce mayores impactos medioambientales, que la utilización de morteros sin dopar.

No obstante, existen incrementos porcentuales pequeños e inferiores al 10% en ciertas categorías de impacto como Potencial de calentamiento global (GWP) 4,10%, Elementos de agotamiento abióticos 6,00%, ADFF 7,69%, Agotamiento de la capa de ozono 8.90%.

En otras categorías el incremento del impacto es significativo y superior al 20% como se ha visto anteriormente.

Hay que tener en cuenta que la unidad funcional es 1m<sup>2</sup> de fachada, un valor pequeño. En el caso de una edificación por ejemplo de un edificio residencial donde la superficie de fachada es considerable (~1000 m<sup>2</sup>) los impactos medioambientales serían mucho más grandes.

Por otro lado, y como se ha indicado anteriormente, aunque en fases de construcción e implementación las ventajas medioambientales del triturado de hueso de oliva son inexistentes, no implica que en fases de uso de la edificación haya una mejora medioambiental.

En la investigación realizada se obtienen los siguientes ahorros energéticos por metro cuadrado de fachada y año tal y como se muestran en la siguiente tabla en función del porcentaje de dopaje del triturado de hueso de oliva.

Como se puede observar a medida que aumenta el porcentaje de ladrillos su ahorro energético aumenta.

Dopado m <sup>2</sup> fachada	kWh/m <sup>2</sup> - año
5%	0,43
10%	0,554
15%	0,658

Tabla 95 - Ahorro energético de la utilización del huesillo de oliva en fachadas.

Esto obviamente genera un ahorro en emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en el largo plazo.

### 5.1.2. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA AMBIENTAL DE LA CUNA A LA TUMBA - FASE DE USO DEL MORTERO

Dado que los resultados obtenidos en el análisis de la "cuna a la puerta" del ciclo de vida no son satisfactorios se modeliza un nuevo LCA añadiendo la fase de uso del ladrillo. Es decir, se plantea un análisis completo de la "cuna a la tumba" (descartando la fase de desmantelamiento y reciclado, que no aporta nada en este caso).

Para este estudio, en primer lugar, se obtiene el ahorro energético final por m<sup>2</sup> de fachada y se pasan a valores de energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para ello se emplea los factores de paso del IDAE [108] en función de la tipología de energía empleada a cubrir la demanda energética del edificio.

Se estudian 3 de las fuentes de energía más comunes a la hora de suplir la energía térmica en edificación: energía eléctrica, gas natural y gasoil.

En la siguiente tabla se muestran los diversos valores de ahorro energético por metro cuadrado de fachada en función del tipo de energía utilizado y el porcentaje de dopado del mortero.

Tipo de fuente de energía	Dopado del 5% el m <sup>2</sup>		Dopado del 10% el m <sup>2</sup>		Dopado del 15% el m <sup>2</sup>	
	*Energía Primaria MJ/m <sup>2</sup> ·año	**kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año	*Energía Primaria MJ/ m <sup>2</sup> ·año	**kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año	*Energía Primaria MJ/ m <sup>2</sup> ·año	**kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año
Electricidad	3,67	0,34	4,72	0,43	5,61	0,52
Gas Natural	1,85	0,13	2,38	0,17	2,83	0,2
Gasoil	1,83	0,16	2,36	0,2	2,8	0,24

Tabla 96 - Resultados de ahorros energéticos por m<sup>2</sup> de fachada en función de su porcentaje de dopado

- \*El factor de paso para la obtención de la Energía Primaria es de 2,368 para la electricidad, 1,195 para el gas natural y 1,182 para el gasoil.
- \*\*El factor de paso para las emisiones de CO<sub>2</sub> es de 0,331 para la electricidad, 0,252 para el gas natural y 0,311 para el gasoil. [108]

Los resultados se muestran para un año de duración del metro cuadrado de fachada en la edificación.

No obstante, se calcularán los ahorros que se producen a un periodo de simulación de 35 años, considerando esta cantidad como la mitad de la vida útil de la edificación en España (70 años).

Finalmente se analizan las categorías de impacto de ADF (combustibles fósiles) y GWP (calentamiento global) a un periodo de 35 años de la utilización de un metro cuadrado de fachada con diversos porcentajes de dopado.

Los resultados se muestran en la siguiente figura:

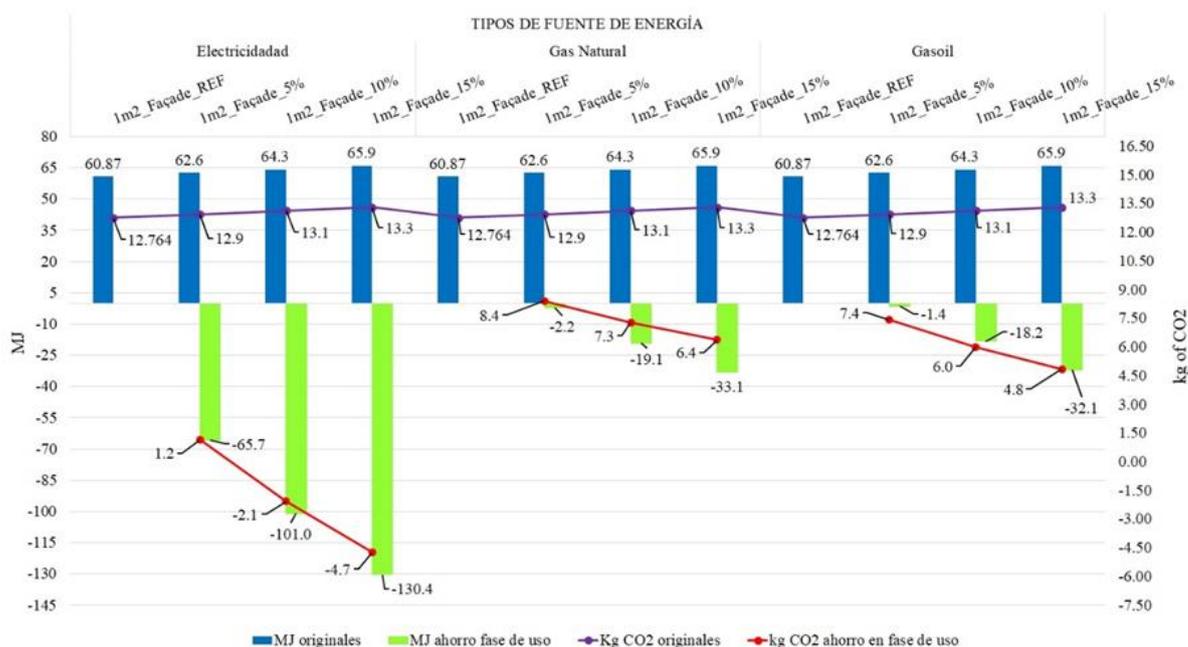


Ilustración 78 - Comparativa de los resultados de ADF y GWP obtenidos en el escenario sin contabilizar la fase de uso y los obtenidos a consecuencia del ahorro energético que se produce por utilizar los ladrillos tipo GERO dopados en una edificación.

En primer lugar, se comienza explicando la categoría de ADF (combustibles fósiles).

Las barras de color azul muestran los MJ de energía procedente de combustibles fósiles obtenidos de LCA de la cuna a la puerta para la fabricación e implementación de un metro cuadrado de fachada en una edificación, utilizándose el ladrillo tipo GERO para ello.

Como se ha visto anteriormente, a medida que aumenta el porcentaje de dopado su consumo de energía era superior.

Las barras verdes son el resultado de restar a las barras grises los ahorros energéticos que surgen del empleo de una fachada dopada con hueso de aceituna, en un periodo de 35 años.

Como se puede observar se produce un ahorro energético al ser un elemento más aislante el mortero dopado que contiene los ladrillos tipo GERO disminuyéndose así la demanda energética de la edificación.

Además, se discrimina en función del tipo de fuente energética que se utiliza para cubrir con la demanda energética de la edificación. Los mejores resultados se obtienen a medida que el porcentaje de dopado es superior, ya que se promueve mayor ahorro energético por año.

Dentro de los niveles máximos de dopado, la fuente de energía eléctrica experimenta los resultados más significativos incluso con valores negativos. Por ejemplo, el m<sup>2</sup> de fachada al 15% de dopado supone evitar consumir en 35 años la cantidad de 130,4 MJ procedentes de combustibles fósiles.

Además, hay que indicar que, de manera global, en el horizonte de 35 años la producción de 1m<sup>2</sup> de fachada al 15% de dopado, supone coste cero de consumo de energía de su fabricación. Ya que se consigue amortizar los 65,9 MJ de energía de inversión inicial que son necesarios para la creación de 1m<sup>2</sup> de fachada.

Si se comparan las fuentes de energía para un mismo tipo de porcentaje de dopado, por ejemplo, del 15%, se demuestra que los resultados con mejor carga ambiental se producen para la eléctrica (-130,4 MJ), gas natural (-33,1 MJ) y gasoil (-32,1 MJ). Esto se deriva de los factores de paso del IDAE [108].

En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> se vuelve a mostrar una tendencia a emitir menos kg. de CO<sub>2</sub> a medida que aumenta el porcentaje de dopado. Se hace evidente en el caso de una fuente de energía del tipo eléctrica y el porcentaje máximo de dopado (15%) donde el metro cuadrado de fachada supone dejar emitir -4,07 kg de CO<sub>2</sub> netos en un periodo de 35 años.

Esto es un gran resultado en comparación con el valor original de 13,3 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> disminuyéndose por lo tanto en un -135,3% las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Se puede indicar que la producción de un metro cuadrado de fachada con un 15% de dopado tiene una emisión nula de CO<sub>2</sub>.

Esta tendencia de disminución es aplicable en otras fuentes de energía como el gas natural, donde para el mismo caso de dopado la reducción con respecto a la original es del 51,87% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Y finalmente en el caso del gasoil una disminución del 63,90%.

Si se amplía el horizonte de estudio por ejemplo a 70 años, se tendría que el metro de cuadrado de fachada pasaría a valores negativos de emisiones de CO<sub>2</sub> para todas las fuentes de energía. Es decir que se comportarse como un sumidero de CO<sub>2</sub> derivado de los ahorros energéticos.

En conclusión, si el marco de estudio se encuentra en la producción e implementación de un metro cuadrado de fachada en una edificación en la cual el ladrillo tipo GERO cuyo mortero contiene triturado de hueso de aceituna no es viable medioambientalmente.

Sin embargo, si el marco de estudio se amplía a la mitad de la vida útil de la edificación (35 años) las ventajas medioambientales son evidentes en categorías como ADFE (uso de combustibles fósiles) y GWP (potencial de calentamiento global).

Esto se deriva de que el mortero con triturado de hueso de oliva dispone de mejores propiedades térmicas que un mortero sin dopar, por lo cual se inducen una serie de ahorros energéticos.

Si estos ahorros energéticos se acumulan en el tiempo pueden sobrepasar las cantidades de energía que inicialmente se utilizaron para la creación de la unidad funcional, llegando incluso a valores negativos lo que se traduce que se está evitando consumir cantidades de energía. Los mismos resultados se pueden extrapolar a las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera.

## 6. RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD SOCIAL

### 6.1. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA SOCIAL

La siguiente figura muestra los resultados del análisis de ciclo de vida social.

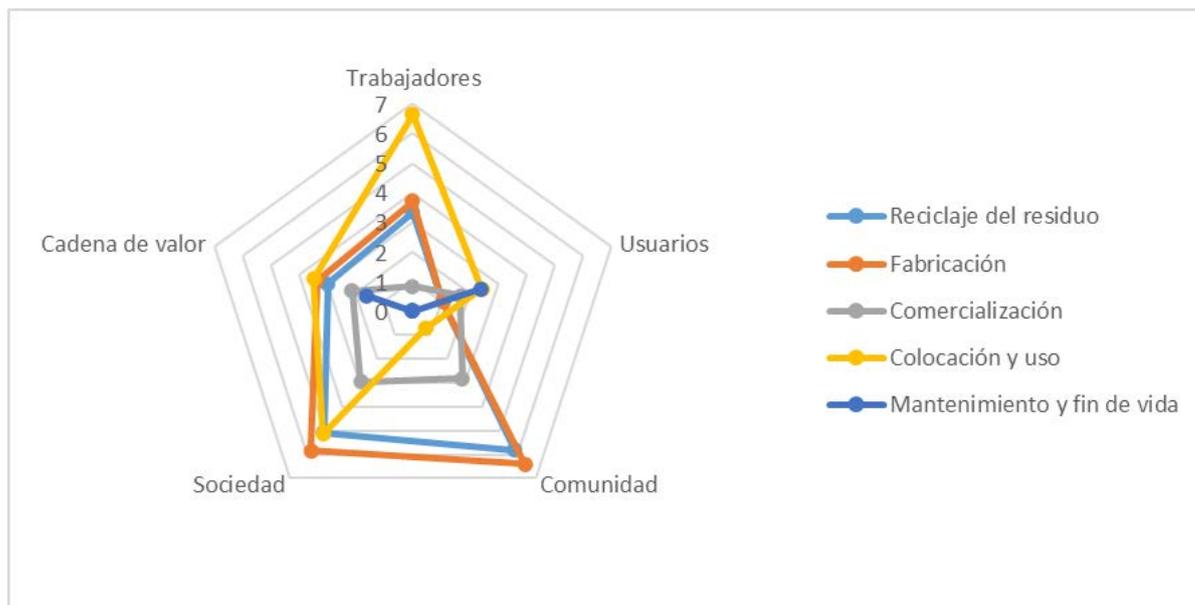


Ilustración 79 - Diagrama de valor de las distintas fases del ciclo de vida social

FASE DEL PROCESO	Trabajadores										Usuarios					Comunidad					Sociedad					Cadena V.				
	PO	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1	E2	E3	*4	*5	*6								
RECICLAJE A Recogida	7	6	6	6	6	6			8	7	9	8	9	9	9	8	9	9	9	97	6.79									
A Transporte	5	5	5	5	5	5						6								31	1.55									
A Localización	8								9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	6	74									
A Difusión	5						7	6	8		8	8	9	9	9	9	8	8	9	81	4.05									
FABRICACI B Fabricación	9	7	7	7	7	7			9	9	8	9	9	8	9	9	8	8	104	9.36										
B Localización	7						9	9	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	6	74										
B Difusión	5						7	6	8		8	8	9	9	9	9	8	8	9	81										
B Asistencia	2	7	7	7	7	7					8	9	7	8	8	8	7	8	90	1.8										
COMERCIA C Estudio	5								9	9	9	9	9	8	8	8	8	8	6	74										
C Difusión	5						7	6	8		8	8	9	9	9	9	8	8	81											
C Mantenimien	3	7	7	7	7	7			7	6	8	7	7	7	7	7	7	7	91											
USO D Transporte	9	7	7	7	7	7						8							43											
D Colocación	10	7	7	7	7	7							9	9	9	9	9	9	89											
D Ahorro	9						9	9	9				9	9	9	9	9	9	63											
MANTENIMI E Reparación	6						8	8	6										37											
FIN DE VIDA E Desmantela	5						8	8	6										37											
Total puntos	100						8	8	6										37	2.22										
Índice por subcategoría de impacto	*1	46	46	32	46	46	53	49	53	44	50	83	74	101	101	94	63	105	61											
Índice por subcategoría de impacto ajustado	*2	2.98	2.98	2.63	2.98	2.98	2.95	2.77	2.91	3.17	3.31	4.72	4.58	6.45	6.38	6.19	3.33	6.79	3.59											
Índice por categoría de impacto	*3	14.55										15.78					19.02					13.71								

Ilustración 80 - Resultados del ACV-S del ladrillo GERO perforado.

Donde:

- \*1: Índice por subcategoría de impacto: Es la suma total de cada subcategoría de impacto.
- \*2: Índice por subcategoría de impacto ajustado: Es cada una de las puntuaciones multiplicada por su significancia y dividida por el total de 100.
- \*3: Índice por categoría de implicado: Es la suma por categoría de implicado de los índices por subcategoría de implicado ajustado.
- \*4: Índice por proceso: Es la suma total de cada proceso.
- \*5: Índice por proceso ajustado: Es cada una de las puntuaciones multiplicada por su significancia y dividida por el total de 100.
- \*6: Índice por fase: Es la suma de los índices por proceso ajustado. De la información obtenida de la matriz del análisis de ciclo de vida se puede concluir la importancia que el nuevo producto tiene sobre las fases de reciclado del residuo, comercialización y sobre todo en fabricación.

Por otro lado, en cuanto a las categorías de implicados destaca la importancia que tiene sobre el conjunto sociedad y en menor medida, a la comunidad y a los propios trabajadores implicados.

FASE DEL CICLO DE VIDA	Trabajadores	Usuarios	Comunidad	Sociedad	Cadena de valor	
Reciclaje del residuo	3,35	1,05	5,82	5,09	3	18,31
Fabricación	3,71	1,05	6,41	5,83	3,39	20,39
Comercialización	0,84	1,68	2,83	2,97	2,16	10,48
Colocación y uso	6,65	2,43	0,72	5,13	3,51	18,44
Mantenimiento y fin de vida	0	2,42	0	0	1,65	4,07
	14,55	8,63	15,78	19,02	13,71	

Tabla 97 - Resultados ponderados por fase de ciclo de vida y grupo de estudio



**14**

---

## **DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

## 1. ENSAYO EXPERIMENTAL CON DOPADO DE CAUCHO

En el primer estudio experimental, se indaga sobre el comportamiento térmico de diversos elementos constructivos, como ladrillos, bovedillas y viguetas, elaborados con hormigón dopado utilizando distintos porcentajes de partículas de caucho provenientes de neumáticos fuera de uso. Los porcentajes de caucho evaluados son: 0%, 10% y 20%.

Los elementos fabricados con estos porcentajes de caucho se emplean para construir tres celdas cerradas distintas, las cuales se someten a ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento. Se registran las temperaturas tanto en el interior de las celdas como en el interior de sus componentes (paredes, techos, suelos).

Los resultados desvelan que el comportamiento térmico de las celdas está vinculado al porcentaje de caucho utilizado en la mezcla de hormigón.

Se evidencia que el gradiente de temperatura entre el interior y el exterior de la celda varía hasta un 5,6% en el caso de un porcentaje de caucho del 20%.

Al analizar la evolución de los ciclos de calentamiento y enfriamiento, se observa que la celda sin añadido de caucho siempre presenta temperaturas interiores más cercanas a la temperatura exterior en comparación con las celdas que contienen caucho, tanto durante los períodos de enfriamiento como de calentamiento.

La presencia de partículas de caucho determina una "inercia térmica" diferente en el conjunto, indicando que a medida que aumenta el porcentaje de caucho en la mezcla, el interior del edificio tardará más tiempo en alcanzar la temperatura externa.

Los datos obtenidos respaldan la teoría de que el uso de caucho en los materiales de construcción mejora el aislamiento térmico de la estructura, lo cual puede tener implicaciones positivas en términos de eficiencia energética, reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y ahorro de energía.

La inclusión de partículas de caucho puede influir, por consiguiente, en la transferencia de calor y en la capacidad de aislamiento térmico de los materiales.

Cabe destacar que este ensayo experimental proporciona, por tanto, resultados bastante representativos y cercanos a las condiciones reales de una construcción, lo que fortalece la evidencia de los beneficios del uso de materiales de mortero y hormigón dopado con caucho en términos de aislamiento térmico.

La afirmación de que el porcentaje de caucho afecta el gradiente de temperatura proporciona información crucial que permite continuar la investigación con un ensayo de determinación del parámetro de conductividad térmica en mortero dopado con triturado de hueso de aceituna.

Basándose en los resultados obtenidos, se puede concluir que la adición de partículas de caucho procedentes de neumáticos fuera de uso (NFU) en la composición del hormigón presenta ventajas significativas.

En primer lugar, que los elementos constructivos que incorporan caucho reciclado han mejorado la capacidad de aislamiento térmico de las celdas construidas, siempre manteniendo el porcentaje de caucho por debajo del 20% para preservar las propiedades mecánicas del hormigón.

Se ha logrado un aumento de hasta el 5,6% en el gradiente de temperatura entre el interior y el exterior, manteniendo la temperatura interior más estable frente a las fluctuaciones de la temperatura exterior.

Estos productos son, por tanto, recomendables para soluciones constructivas que requieren un aislamiento térmico adecuado sin aumentar significativamente la porosidad, como en cerramientos de edificios industriales o agropecuarios, entre otros casos donde no se necesita un hormigón con función estructural.

La mejora en el aislamiento térmico conlleva, por extensión, una menor demanda energética, lo que se traduce en ahorro económico. Además, se espera una reducción en la emisión de CO<sub>2</sub>, ya que se reduce el consumo de energía no renovable y se disminuye la dependencia de combustibles fósiles.

De esta forma, se puede proponer una forma interesante de revalorizar un residuo abundante y problemático como son los neumáticos fuera de uso, en línea con las políticas actuales de la Unión Europea en gestión de residuos.

La fabricación de los ladrillos y bovedillas utilizados en las celdas se realiza en una línea de producción convencional, lo que demuestra la viabilidad de la industrialización de estos nuevos productos.

En resumen, la incorporación de partículas de caucho en el hormigón puede ofrecer beneficios significativos en términos de aislamiento térmico, ahorro energético, reducción de emisiones y revalorización de residuos, con la facilidad de implementación en procesos industriales convencionales.

Este ensayo in situ ha proporcionado conclusiones relevantes sobre la relación entre la adición de ciertos materiales al mortero y hormigón, reemplazando parcialmente los áridos convencionales y la reducción de la propiedad de conductividad térmica, así como la mejora del aislamiento térmico.

Estos hallazgos sientan las bases para el resto de la investigación, que se centrarán en cuantificar los valores de reducción de conductividad térmica en comparación con los materiales convencionales, así como evaluar el potencial de reducción de la demanda energética en una construcción real.

En el siguiente estudio, se realizarán mediciones y análisis detallados de la conductividad térmica de las estructuras construidas con estos materiales dopados. Además, se evaluará la eficiencia energética de dichas construcciones mediante la monitorización de la demanda energética y la comparación con construcciones convencionales.

Estos datos permitirán cuantificar de manera precisa los beneficios y el potencial de reducción de la demanda energética que se puede lograr con el uso de materiales de mortero y hormigón dopados.

## 2. ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL MORTERO DOPADO CON TRITURADO DE HUESO DE ACEITUNA

Después de realizar el primer ensayo experimental y comprobar de manera satisfactoria que el dopado de caucho mejora significativamente el aislamiento del mortero, se plantea realizar una serie de probetas de mortero, cada una de ellas dopada con distintos porcentajes de triturado de hueso de oliva (entre 5 y 30%) para cuantificar numéricamente la reducción de la propiedad de la conductividad térmica.

El ensayo realizado tiene como objetivo calcular la conductividad térmica de diferentes probetas de mortero, tanto las que no han sido dopadas como las que contienen triturado de hueso de oliva en proporciones entre el 5% y el 30% en sustitución del volumen de árido, siguiendo el procedimiento establecido por la norma UNE-EN 12939:2001 ERRATUM:2009 "Thermal performance of building materials and products - Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - Thick products of high and medium thermal resistance."

Con los datos obtenidos de las probetas térmicas se plantea la unificación de todos ellos en una curva de regresión polinómica de tercer grado que permite predecir el valor de la conductividad térmica ( $\lambda_{10}$ ) en función del porcentaje de dopaje de triturado de hueso de oliva.

La ecuación que permite aproximarse a la conductividad térmica ( $\lambda_{10}$ ) del mortero en función de su porcentaje de dopaje de huesillo de oliva es la siguiente:

$$\lambda_{10} = -0,0018 \cdot x^3 + 0,0313 \cdot x^2 - 0,2317 \cdot x + 1,4737$$

Donde x es el porcentaje de huesillo de oliva añadido a la mezcla calculado de la siguiente forma:

$$x = \frac{\% \text{ huesillo en mezcla}}{5} + 1$$

El coeficiente de determinación  $R^2$  es de 0,9417.

Los resultados, permiten concretar que, al agregar un cierto porcentaje de dopado de triturado de hueso de oliva al mortero, se observa una disminución significativa y proporcional en la propiedad de conductividad térmica del producto resultante, llegando a una reducción de hasta un 43,94% en el mortero con un 30% de dopado.

% Hueso de aceituna	$\lambda_{10}$	% Reducción conductividad sobre sin dopar
0%	1,254	
5%	1,057	15,66%
10%	0,942	24,81%
15%	0,861	31,31%
20%	0,798	36,34%
25%	0,746	40,46%
30%	0,703	43,94%

Tabla 98 - Tabla resumen de  $\lambda_{10}$  calculados y % de reducción de conductividad sobre mortero sin dopar

A medida que se incrementa el porcentaje de triturado de hueso de oliva en los morteros, la conductividad térmica  $\lambda_{10}$  disminuye según la curva de regresión polinómica de tercer grado planteada, lo que indica que son más aislantes térmicamente los morteros dopados que los morteros sin dopar.

Las anomalías u oscilaciones que presentan las gráficas pueden deberse a la humedad que el huesillo y la arena absorben del ambiente antes de su fabricación.

Los mejores resultados, los más regulares, se obtienen con las probetas elaboradas con cemento de 42,5, es decir emplear un cemento con mayor resistencia, no garantiza mejores resultados.

Para un porcentaje de huesillo de oliva del 5% (M-5), la conductividad térmica desciende casi un 15,66%, llegando a ser del 43,94% para un porcentaje de dopaje del 30%.

Desde esta perspectiva, la inclusión de triturado de hueso de oliva en el mortero conlleva una mejora en el aislamiento térmico, respaldada por la reducción del parámetro de conductividad térmica, lo que podría generar beneficios significativos en las envolventes de los edificios donde se implemente ya que los morteros, mezclados con un porcentaje específico de este dopado, encuentran diversas aplicaciones en la construcción, abarcando desde la fabricación de bovedillas hasta ladrillos de mortero para fachadas.

Esta integración podría traducirse en una disminución de la demanda de energía en los edificios construidos con estos materiales, resultando en una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y un ahorro energético a nivel global.

Además, la valorización de un residuo abundante como el triturado del hueso de la oliva hace que estas aplicaciones sean altamente atractivas desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental y, en algunos casos, también desde el aspecto social.

Esta afirmación, avalada por los resultados del ensayo, permite avanzar en el siguiente paso, quizá el más elaborado de la investigación, que consiste en la cuantificación del ahorro energético y económico generado por la sustitución parcial de un porcentaje de los áridos que componen el mortero por una mezcla de triturado de residuos de hueso de oliva en ladrillos tipo GERO en un caso práctico real de construcción de nuevos edificios en España.

Todo esto, las decisiones de valoración y los resultados de la simulación energética se exponen a continuación.

### 3. SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

La constatación de la reducción de la conductividad térmica en ladrillos de mortero dopados con triturado de hueso de aceituna permite avanzar en la cuantificación del ahorro energético generado por la sustitución parcial de un porcentaje de los áridos que componen el mortero por una mezcla de triturado de residuos de hueso de oliva en ladrillos tipo GERO en un caso práctico real de construcción de nuevos edificios en España.

El objetivo es calcular la reducción de demanda energética conjunta de calefacción y refrigeración (kWh/m<sup>2</sup> y año) con la sustitución de 23cm en dos hojas de ladrillo GERO de mortero perforado convencional de 11,5cm de espesor de la fachada por otro ladrillo GERO de iguales características, pero con un porcentaje de dopaje de triturado de hueso de oliva. De la misma manera también se sustituyen 3cm de la capa exterior de mortero de revestimiento sin dopar por otro del mismo exterior dopado con residuo de triturado de hueso de oliva.

Para la confección del modelo de edificio base se opta por una tipología edificatoria de RESIDENCIAL EN BLOQUE reconocida en el modelo 6.2 del documento de "Calificación energética de edificios existentes del IDAE – Instituto para la diversificación y ahorro de energía de España". Se utiliza un modelo en planta con 21 metros de fachada principal al Sur y trasera al Norte y 20 metros de medianera perpendicular (Este y Oeste) en forma cuasi cuadrada. En las dos fachadas medianeras se abren dos pequeños patios de dimensiones 4x4 (16m<sup>2</sup> cada uno).

Se utiliza un enfoque basado en datos climáticos específicos de 5 localidades (5 zonas climáticas según CTE de España) y se establecen supuestos realistas sobre el uso y el consumo de energía en un edificio típico que cumpla con las exigencias del Código Técnico de la Edificación en España (Real Decreto 732/2019). Las 5 ubicaciones utilizadas para la simulación energética con vinculación a las 5 zonas climáticas de invierno del Código Técnico de la Edificación son:

- Zona A: Almería
- Zona B: Sevilla
- Zona C: Barcelona
- Zona D: Logroño
- Zona E: Soria

Para las simulaciones energéticas de cálculo de la demanda de energía del edificio se utilizó la versión de la Herramienta Unificada LIDER – CALENER (HULC) 1.0.1564.1124 (fecha de actualización 03 de marzo de 2017).

A continuación, se muestra un resumen de los resultados de ahorro energético en la demanda conjunta de calefacción y refrigeración en las 5 zonas climáticas por año:

	Ahorro energético demanda conjunta calefacción y refrigeración (kWh por año)					
	Perforado Dopado 5% $\lambda=0,676$	Perforado Dopado 10% $\lambda=0,603$	Perforado Dopado 15% $\lambda=0,551$	Perforado Dopado 20% $\lambda=0,510$	Perforado Dopado 25% $\lambda=0,477$	Perforado Dopado 30% $\lambda=0,449$
Zona Climática A - ALMERÍA	399,9	515,4	612,5	696,0	772,4	843,8
Zona Climática B - SEVILLA	469,0	608,1	720,0	826,3	918,0	1006,4
Zona Climática C - BARCELONA	431,5	553,1	659,4	761,3	855,5	934,7
Zona Climática D-LOGROÑO	381,3	495,6	589,9	690,5	772,5	858,6
Zona Climática E-SORIA	442,8	567,0	669,1	788,1	884,6	990,8
<b>Superficie total de fachada reemplazada: 988,52 m<sup>2</sup></b>						

Tabla 99 - Ahorro energético anual total (988.52m<sup>2</sup> de fachada) por incorporación de dopado de hueso de oliva por zonas climáticas

La ratio de ahorro energético medio (5 zonas climáticas) en la demanda térmica conjunta de calefacción y refrigeración por m<sup>2</sup> de fachada construido tipo SATE con la sustitución del ladrillo GERO perforado sin dopar por otros equivalentes y dopados con los distintos porcentajes estudiados es la siguiente:

	<b>Ahorro energético demanda conjunta calefacción y refrigeración (kWh/m<sup>2</sup> por año)</b>					
	<b>Perforado Dopado 5%</b>	<b>Perforado Dopado 10%</b>	<b>Perforado Dopado 15%</b>	<b>Perforado Dopado 20%</b>	<b>Perforado Dopado 25%</b>	<b>Perforado Dopado 30%</b>
<b>Valores medios de ahorro energético por m<sup>2</sup> de fachada</b>	<b>0,430</b>	<b>0,554</b>	<b>0,658</b>	<b>0,761</b>	<b>0,850</b>	<b>0,938</b>

*Tabla 100 - Ahorro energético medio por m<sup>2</sup> de fachada por incorporación de dopado de hueso de oliva*

En el caso de estudio planteado de un edificio nuevo con dos hojas de ladrillo GERO perforado sin dopar en las fachadas (espesor total de ladrillo de 23cm) y que cumpla con los requisitos de aislamiento del Código Técnico de la Edificación en España, se puede observar que la sustitución del ladrillo por otros dopados con triturado de hueso de oliva permitiría ahorrar entre 0,43 kWh/m<sup>2</sup> (para el dopaje M-5%) y 0,938 kWh/m<sup>2</sup> (para el dopaje M-30%) cada año en la demanda conjunta de calefacción y refrigeración.

Conociendo que el destino actual más habitual del triturado de hueso de oliva es la combustión en calderas de biomasa, se calcula a continuación el periodo de recuperación en años en el que la cantidad de energía ahorrada anualmente en la demanda conjunta de calefacción y refrigeración con la incorporación del triturado de hueso de oliva triturado al mortero compensa los kWh que se obtendrían derivados de su combustión en una caldera de biomasa utilizando un valor de poder calorífico inferior (PCI) para el triturado de hueso de oliva de 4,489 kWh/kg según el documento "Poderes caloríficos inferiores de las principales fuentes energéticas" del IDAE y se plantea un rendimiento de energía útil del 75% en la combustión cuantificando de esta manera pérdidas en la caldera y en la distribución del calor.

Los periodos de recuperación de la energía para las 5 zonas climáticas y los distintos porcentajes de dopado (M-5, M-10, M-15, M-20, M-25 y M-30) obtenidos son los siguientes:

25	M-5	M-10	M-15	M-20	M-25	M-30
● Zona Climática A - ALMERÍA	36	56	69	81	92	105
● Zona Climática B - SEVILLA	30	47	59	69	77	88
● Zona Climática C - BARCELONA	33	52	64	74	83	95
● Zona Climática D-LOGROÑO	37	58	72	82	92	103
● Zona Climática E-SORIA	32	51	63	72	80	90
○ Valores medios	34	53	65	76	85	96

Tabla 101 - Resumen de años de recuperación en distintas zonas climáticas

Como se puede apreciar, los mejores resultados se obtienen con un dopado entre el 5-15% donde el periodo de recuperación medio oscila entre los 30-72 años dentro del tiempo de vida útil de un edificio construido con las exigencias normativas actuales.

Por tanto, la fabricación de ladrillos dopados con cantidades inferiores al 15% encuentra un equilibrio razonable entre la cantidad de hueso de oliva aportado y la reducción de la demanda energética, de modo que el plazo de tiempo de recuperación de la energía de combustión del hueso de oliva en calderas de biomasa oscilaba entre los 30 y 37 años para el dopado al 5%, 47 y 58 años para el dopado al 10% y 59 y 72 años para el dopado al 15%.

Estos valores, aun siendo altos, se encuentran todavía dentro del periodo de vida útil de un edificio (50-75-100 años) por lo que se trata de una medida rentable desde el punto de vista energético.

La opción más viable es la del dopado del ladrillo GERO perforado al 5% con triturado de hueso de oliva donde el periodo de recuperación es más bajo (30-37 años) situándose por debajo de la vida útil de un edificio de nueva construcción (50-75 años).

Se concluye, por tanto, que la adición de triturado de hueso de oliva para la confección de mortero dopado y su incorporación en ladrillos perforados en porcentajes entre el 5% y el 15% para fachada permite recuperar dentro de la vida útil de un edificio la energía útil capaz de obtenerse mediante su combustión en una caldera de biomasa (su uso más habitual en la actualidad).

## 4. SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA

Justificada la viabilidad energética, el siguiente paso es el estudio de la rentabilidad económica, ambiental y social.

En el caso de estudio planteado de un edificio con dos hojas de ladrillo GERO perforado sin dopar en las fachadas y que cumpla con los requisitos de aislamiento del Código Técnico de la Edificación en España, dopados entre el 5% y el 15% son viables tanto técnica como energéticamente ya que sus periodos de recuperación se encuentran por debajo de la vida útil de un edificio de nueva construcción (menos de 70 años).

Habida cuenta de la insostenibilidad energética detectada en la simulación energética para dopados superiores al 15%, sólo se analizan los dopados de triturado de hueso de aceituna entre el 5% y el 15%, descartando todos los porcentajes superiores.

El análisis de sostenibilidad económica del ahorro energético generado por la utilización de ladrillos GERO dopados con un % de triturado de hueso de oliva en sustitución del ladrillo y mortero convencional con arena se realiza mediante el cálculo del VAN y el TIR, así como del parámetro estático de amortización.

Para los cálculos se utilizan dos horizontes temporales: 25 años y 50 años.

Se utiliza una tasa de descuento del 0% teniendo en cuenta que no se pretende comparar esta inversión con otras posibles sino simplemente valorar que rendimiento en un determinado plazo de tiempo los ahorros económicos anuales derivados de los ahorros energéticos propiciados por la utilización a tiempo presente del hueso de oliva en lugar de utilizarlos con un precio inflacionado en el futuro.

Se opta por valorar un prudente incremento del 3% anual del precio de las fuentes de energía utilizados en la simulación (electricidad para la aerotermia, gas natural para la caldera de condensación y hueso de oliva para la biomasa).

Con estos parámetros de entrada los resultados obtenidos son los siguientes:

Recuperación económica del mortero dopado 5%

Fuente de energía	Sistema de climatización	Años para recuperación de la inversión	% Interés total obtenido a 25 años	% Interés total obtenido a 50 años
Electricidad	Aerotermia	13 años	6,98%	9,14%
Gas Natural	Caldera de condensación	11 años	9,51%	11,12%
Hueso de aceituna	Caldera de biomasa	19 años	2,75%	6,02%

Recuperación económica del mortero dopado 10%

Fuente de energía	Sistema de climatización	Años para recuperación de la inversión	% Interés total obtenido a 25 años	% Interés total obtenido a 50 años
Electricidad	Aerotermia	24 años	0,76%	4,72%
Gas Natural	Caldera de condensación	20 años	2,58%	5,95%
Hueso de aceituna	Caldera de biomasa	33 años	-2,47%	2,63%

Recuperación económica del mortero dopado 15%

Fuente de energía	Sistema de climatización	Años para recuperación de la inversión	% Interés total obtenido a 25 años	% Interés total obtenido a 50 años
Electricidad	Aerotermia	30 años	-1,76%	3,08%
Gas Natural	Caldera de condensación	26 años	-0,14%	4,13%
Hueso de aceituna	Caldera de biomasa	41 años	-4,09%	1,25%

Tabla 102 - *Resultados análisis económico con mortero dopado*

Los valores calculados para % interés total anual a un determinado plazo de tiempo (25-50 años) son el TIR de la inversión por lo que se reflejan en % de ingresos totales de manera anual (con tasa de descuento 0%).

De la simulación de análisis de viabilidad económica basada en los indicadores VAN y TIR se pueden obtener resultados bastante esperanzadores.

En este sentido, se valora una recuperación de la inversión entre 11 y 19 años para el ladrillo de mortero dopado al 5%, entre 20 y 33 años para el dopado al 10% y entre 26 - 41 años para el dopado al 15%. En todos los casos el periodo de recuperación es inferior a 50 años, que es la edad mínima exigible a un edificio de nueva construcción en España.

Esto es debido, a que los precios de los combustibles que generan la energía necesaria en las viviendas se encuentran siempre al alza y con un planteamiento bastante conservador de un incremento anual del 3% la inversión inicial se amortiza razonablemente rápido.

La recuperación es mejor en comparación con los precios vinculados a suministros eléctricos por ser la energía más cara actualmente.

De los resultados obtenidos, cabe concluir que la adición de triturado de hueso de aceituna en un 5% de volumen total a la composición del mortero para la fabricación de ladrillos GERO perforados que puedan ser utilizados en la construcción de fachadas de edificios de nueva construcción es la opción que genera las mayores ventajas económica.

Tras realizar un estudio de viabilidad mediante VAN, se extrae que la opción más viable económicamente es la del dopado del ladrillo GERO perforado al 5% con triturado de hueso de oliva donde el periodo de recuperación es más bajo (13-19 años).

En cualquier caso, para cualquiera de los 3 tipos de dopados estudiados (5%, 10% y 15%) los resultados del VAN a 25 años y a 50 años son positivos por lo que resulta una inversión atractiva y viable.

Además, ya se valoró en la simulación energética que, cantidades superiores al 15% evidencian tiempos de recuperación de energía muy altos (superiores a 100 años) en comparación con la energía que se podría obtener de la combustión del hueso de aceituna en calderas de biomasa.

## 5. SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (ACV)

Por último, se realiza un análisis de ciclo de vida ambiental y social para determinar cuáles son las fases y categorías de implicados con una mayor incidencia positiva.

Para el caso de la sostenibilidad ambiental (ACV) la determinación del alcance del análisis de ciclo de vida resulta relevante y decisivo.

La mayoría de las investigaciones de esta temática únicamente se centran en el alcance de la cuna a la puerta.

Sin embargo, estudiar fases posteriores a la de producción, como, sobre todo, la fase de uso del mortero en edificación (de la cuna a la tumba) y evaluar sus impactos al incorporar las ventajas medioambientales, ha sido una variable crítica en esta investigación.

Si se estudia estrictamente el marco del ACV de la cuna a la puerta, el uso de hueso de oliva como sustitutivo del árido fino en morteros produce mayores impactos en todas las categorías ambientales evaluadas a excepción de la categoría de consumo de agua donde se ve reducida un 8,21% para las alternativas de fachada que se dopen con un 15%. Este ahorro de agua puede ser una justificación directa para emplear este tipo de morteros ya que hoy en día el agua es considerada como un bien de primera necesidad y fundamental.

Sin embargo, si se añade al análisis de ciclo de vida ambiental la fase de uso (en toda la vida útil del edificio construido) entonces los resultados son mucho mejores, sobre todo en las categorías de impacto de ADFP (uso de combustibles fósiles) y GWP (potencial de calentamiento global).

Los resultados en un periodo de 35 años de la utilización de un metro cuadrado de fachada con diversos porcentajes de dopado, se muestran en la siguiente figura:

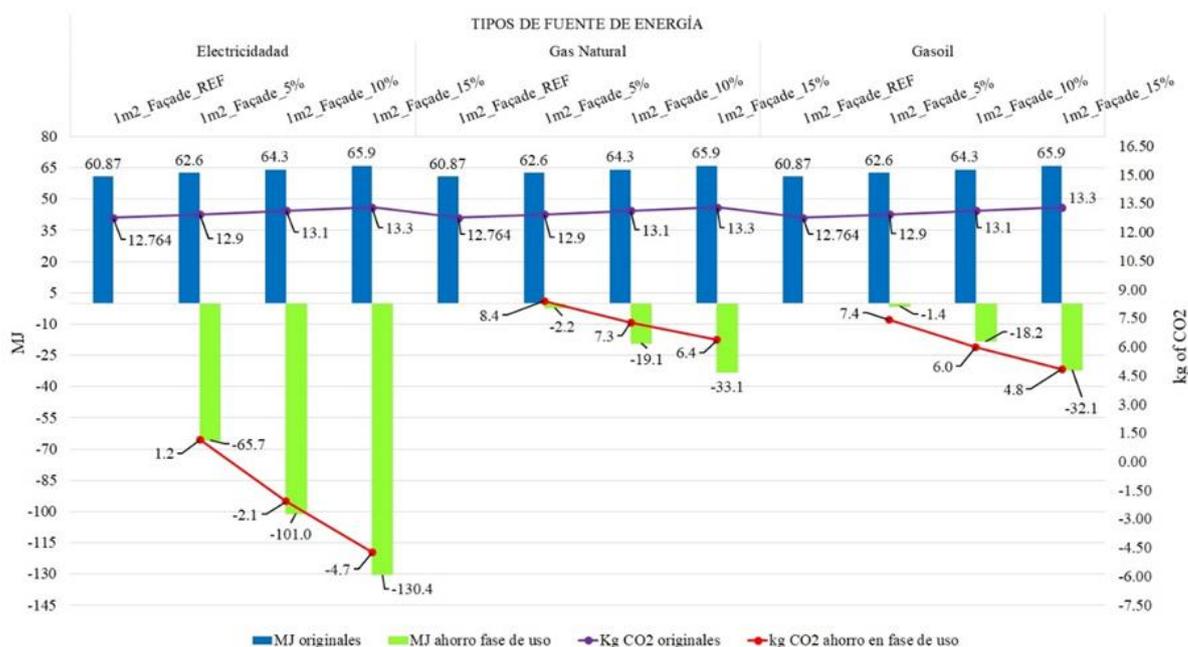


Ilustración 81 - Comparativa de los resultados de ADF y GWP obtenidos en el escenario sin contabilizar la fase de uso y los obtenidos a consecuencia del ahorro energético que se produce por utilizar los ladrillos tipo GERO dopados en una edificación.

En el caso de la investigación en un periodo de simulación de 35 años se observa una disminución evidente de los impactos en categorías como ADF (uso de combustibles fósiles) y GWP (potencial de calentamiento global).

Dentro de los niveles máximos de dopado, la fuente de energía eléctrica experimenta los resultados más significativos incluso con valores negativos (sumideros de energía). Por ejemplo, el m<sup>2</sup> de fachada al 15% de dopado supone evitar consumir en 35 años la cantidad de 130,4 MJ procedentes de combustibles fósiles.

Además, hay que indicar que, de manera global, en el horizonte de 35 años la producción de 1m<sup>2</sup> de fachada al 15% de dopado, supone coste cero de consumo de energía de su fabricación ya que se consigue amortizar los 65,9 MJ de energía de inversión inicial que son necesarios para la creación de 1m<sup>2</sup> de fachada.

En casos del 15% de dopado, y para fuentes energéticas como la electricidad, los resultados evidencian que el mortero empleado en la fachada se comporta como un sumidero de emisiones de CO<sub>2</sub>, así como evitar el consumo de combustibles fósiles.

Si se comparan las fuentes de energía para un mismo tipo de porcentaje de dopado, por ejemplo, del 15%, se demuestra que los resultados con mejor carga ambiental se producen para la eléctrica (-130,4 MJ), gas natural (-33,1 MJ) y gasoil (-32,1 MJ).

En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> se vuelve a mostrar una tendencia a emitir menos kg. de CO<sub>2</sub> a medida que aumenta el porcentaje de dopado. Se hace evidente en el caso de una fuente de energía del tipo eléctrica y el porcentaje máximo de dopado (15%) donde el metro cuadrado de fachada supone dejar emitir -4,07 kg de CO<sub>2</sub> netos en un periodo de 35 años.

Esto es un gran resultado en comparación con el valor original de 13,3 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> disminuyéndose por lo tanto en un -135,3% las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Se puede indicar que la producción de un metro cuadrado de fachada con un 15% de dopado tiene una emisión nula de CO<sub>2</sub>.

Esta tendencia de disminución es aplicable en otras fuentes de energía como el gas natural, donde para el mismo caso de dopado la reducción con respecto a la original es del 51,87% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Y finalmente en el caso del gasoil una disminución del 63,90%.

Si se amplía el horizonte de estudio por ejemplo a 70 años, el metro cuadrado de fachada dopada pasaría a valores negativos de emisiones de CO<sub>2</sub> para todas las fuentes de energía. Es decir que se comportarse como un sumidero de CO<sub>2</sub> derivado de los ahorros energéticos.

En conclusión, si el marco de estudio se encuentra en la producción e implementación de un metro cuadrado de fachada en una edificación en la cual el ladrillo tipo GERO cuyo mortero contiene triturado de hueso de aceituna no es viable medioambientalmente. Sin embargo, si el marco de estudio se amplía a la mitad de la vida útil de la edificación (35 años) las ventajas medioambientales son evidentes en categorías, sobre todo en las categorías de impacto de ADF (uso de combustibles fósiles) y GWP (potencial de calentamiento global).

Ambientalmente, se puede justificar que producir 1m<sup>2</sup> de fachada en el cual el mortero es dopado y empleado en ladrillos implica ventajas a largo plazo de estudio considerando toda la vida útil de la fase de uso.

## 6. SOSTENIBILIDAD SOCIAL (ACV-S)

Por último, el análisis de ciclo de vida social permite reforzar la importancia que la explotación local de este residuo/subproducto puede tener tanto en la comunidad (cerca del origen en la generación de los residuos) como en la propia sociedad dado el impacto que tiene energética y ambientalmente.

Las fases de ciclo de vida social con más impacto son la de gestión del residuo, fabricación y comercialización.

De la información obtenida de la matriz del análisis de ciclo de vida se puede concluir la importancia que el nuevo producto tiene sobre las fases de reciclado del residuo, comercialización y sobre todo en fabricación, lo cual reafirma la teoría de la sostenibilidad del ciclo de vida social imbricado dentro del concepto de economía circular.

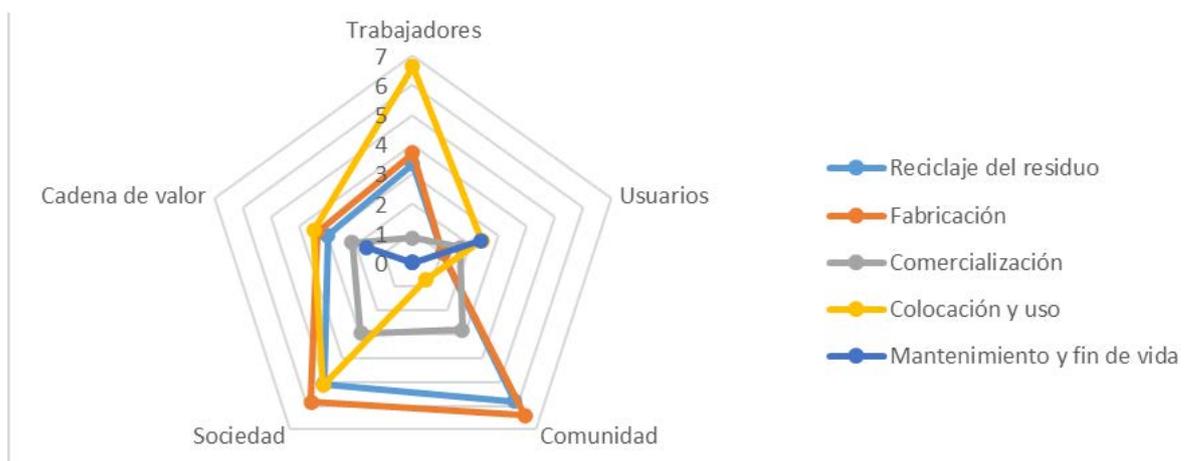


Ilustración 82 - Diagrama de valor de las distintas fases del ciclo de vida social

Esta valoración permite sostener la afirmación de que la utilización del residuo de triturado de hueso de aceituna en esta nueva aplicación de dopado de ladrillos GERO para edificación tendría grandes beneficios e impactos sociales sobre la comunidad local, especialmente aquellas más cercanas a las zonas producción de olivas siendo, Andalucía, en este caso, la comunidad más beneficiada.

El análisis de ciclo de vida social permite afirmar la importancia que la explotación local de este residuo pueda tener tanto en la comunidad (cerca del origen en la generación de los residuos) y en la propia sociedad dado el impacto que tiene energética y ambientalmente y en menor medida, a la comunidad y a los propios trabajadores implicados.



---

## CONCLUSIONES

## 1. CONCLUSIONES

La presente investigación la hemos desarrollado con el objetivo de proponer una metodología de evaluación integral de la sostenibilidad en el dopado de ladrillos de mortero con triturado de hueso de oliva en cuatro dimensiones clave:

- Energética
- Económica
- Ambiental
- Social.

Para ello, hemos desarrollado un caso práctico, que nos permita comprender y cuantificar el impacto global del dopado de ladrillos de mortero tipo GERO perforados con porcentajes de triturado hueso de oliva entre el 5% y el 15% para su utilización en sustitución de los ladrillos convencionales en la construcción de nuevos edificios en España.

La presente investigación nos ha arrojado resultados que confirman que el dopado de ladrillos GERO de mortero con porcentajes de triturado de hueso de oliva en el rango del 5% al 15% es una práctica sostenible desde todas las perspectivas analizadas: energética, económica, ambiental y social.

En primer lugar, la incorporación de porcentajes de entre el 5% y el 15% de triturado de hueso de oliva en el mortero de ladrillos tipo GERO perforados en sustitución de los áridos convencionales es sostenible energéticamente ya que el nuevo producto mezclado es más aislante.

El nuevo material dopado mejora las propiedades térmicas de los ladrillos ya que hemos demostrado la reducción de la conductividad térmica.

La conductividad térmica del mortero dopado al 5% con triturado de hueso de aceituna es un 15,66% inferior a la del mortero sin dopar.

Estos números ascienden a un 24,81% con un dopado del 10% y a un 31,31% con un dopado del 15%.

A su vez, de esta manera, se reduce la demanda de calefacción y refrigeración en los edificios construidos con este producto (sobre todo en fachadas).

También hemos constatado que la fabricación de ladrillos dopados con cantidades inferiores al 15% encuentra un equilibrio razonable entre la cantidad de hueso de oliva aportado y la reducción de la demanda energética.

Dopados en cantidades superiores (20% o más) son menos eficientes y el edificio no recupera en plazos de vida útil menores a 70 años la energía que se podría producir por combustión del triturado de hueso de oliva, por lo que no las hemos utilizado en el estudio económico ni ambiental.

Si se compara la utilización habitual de este tipo de subproducto (triturado de hueso de oliva) como combustible en calderas de biomasa, hemos observado que se puede recuperar la energía útil generada por la combustión en plazos razonables de tiempo (menores a 50 años en la mayoría de los casos) e inferiores, en todo caso, a la vida útil nominal del edificio construido.

De este modo el plazo de tiempo de recuperación de la energía de combustión del hueso de oliva en calderas de biomasa oscila entre los 30 y 37 años para el dopado al 5%, 47 y 58 años para el dopado al 10% y 59 y 72 años para el dopado al 15%.

Por otro lado, también podemos concluir que la incorporación de porcentajes de entre el 5% y el 15% de triturado de hueso de oliva en el mortero de ladrillos tipo GERO perforados en sustitución de los áridos convencionales es sostenible económicamente.

En este sentido, el exceso de coste del ladrillo dopado con triturado con hueso de oliva con respecto al fabricado habitualmente con áridos convencionales (la arena es más económica que el triturado de hueso de oliva) se recupera en plazos comprendidos entre 11 y 19 años para el ladrillo de mortero dopado al 5%, entre 20 y 33 años para el dopado al 10% y entre 26 y 41 años para el dopado al 15% (en función la fuente de energía utilizada para generar la climatización: electricidad, gas natural o biomasa).

La recuperación es mejor en comparación con los precios vinculados a suministros eléctricos por ser la energía más cara actualmente.

En todos los casos el periodo de recuperación también es inferior a 50 años, que es la edad mínima exigible a un edificio de nueva construcción en España.

Esto es debido, principalmente, a que los precios de los combustibles que generan la energía necesaria en las viviendas se encuentran siempre al alza y con un planteamiento bastante conservador de un incremento anual del 3% la inversión inicial se amortiza razonablemente rápido, incluso más rápido que la energética.

Por último, también podemos afirmar que la incorporación de porcentajes de entre el 5% y el 15% de triturado de hueso de oliva en el mortero de ladrillos tipo GERO perforados en sustitución de los áridos convencionales es sostenible ambiental y socialmente.

Desde el punto de vista ambiental, la inclusión de hueso de oliva en la producción de ladrillos de mortero ha demostrado ser beneficiosa tras realizar un análisis de ciclo de vida de la cuna a la tumba (añadiendo la fase de uso del producto).

La utilización de un subproducto agrícola como material de construcción reduce la dependencia de recursos no renovables y disminuye la generación de residuos.

Además, la producción de ladrillos con hueso de oliva emite menos gases de efecto invernadero que su combustión habitual en calderas de biomasa, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático.

En el horizonte de 35 años la producción de 1m<sup>2</sup> de fachada al 15% de dopado, supone coste cero de consumo de energía de su fabricación ya que se consigue amortizar los 65,9 MJ de energía de inversión inicial que son necesarios para la creación de 1m<sup>2</sup> de fachada.

En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> se vuelve a mostrar una tendencia a emitir menos kg. de CO<sub>2</sub> a medida que aumenta el porcentaje de dopado.

Podemos indicar que la producción y uso de un metro cuadrado de fachada con un 15% de dopado tiene una emisión nula de CO<sub>2</sub>.

Si se amplía el horizonte de estudio a 70 años, el metro cuadrado de fachada dopada pasaría a valores negativos de emisiones de CO<sub>2</sub> para todas las fuentes de energía (electricidad, gasoil, gas natural) comportándose como un sumidero de CO<sub>2</sub> derivado de los ahorros energéticos.

Finalmente, la introducción de esta práctica sostenible también tiene un impacto positivo en la dimensión social.

La utilización de subproductos agrícolas promueve la sostenibilidad en las comunidades rurales vinculadas a la producción de aceite de oliva, sobre todo en la zona sur de España.

Además, la adopción de tecnologías más limpias y sostenibles en la industria de la construcción genera empleo y mejora las condiciones laborales, contribuyendo así al desarrollo social.

Estos resultados no solo tienen implicaciones positivas para la industria de la construcción, sino que también abren la puerta a prácticas más sostenibles y responsables en el ámbito de la edificación.

También es esencial reconocer que, aunque todas las pruebas aportadas en esta investigación son muy consistentes y proporcionan información detallada, pueden ser

necesarios estudios ulteriores para esclarecer por completo el comportamiento real del dopado de triturado de hueso de oliva en los ladrillos de mortero.

Todos los cálculos que hemos realizado se centran en aspectos específicos y parámetros limitados, lo que puede no reflejar completamente la complejidad de las interacciones en un sistema constructivo real utilizando mortero dopado con triturado de hueso de oliva.

Sin embargo, es muy evidente que todos los parámetros de la evaluación metodológica apuntan a la viabilidad de la sostenibilidad energética, económica, ambiental y social del dopado de ladrillos de mortero con triturado con hueso de oliva, por lo que se espera que estos hallazgos motiven a la adopción de esta tecnología y sirvan como base para futuras investigaciones en el campo de los materiales de construcción sostenibles.

En resumen, la incorporación de triturado de hueso de oliva en los ladrillos de mortero, dentro del rango del 5% al 15% en volumen de sustitución de áridos, se presenta como una opción integralmente sostenible desde diversas perspectivas: energética, económica, ambiental y social.



**16**

---

## **TRABAJOS FUTUROS**

## 1. PROYECCIÓN DE NUEVOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

La creciente conciencia global sobre la importancia de la sostenibilidad ambiental ha abierto un inmenso campo de oportunidades para la investigación innovadora.

En este contexto, la posibilidad de desarrollar nuevos trabajos de investigación en el ámbito de la sostenibilidad ambiental mediante el dopado de materiales de construcción emerge como un terreno prometedor.

La integración de materiales adicionales, como el hueso de oliva en el mortero, ha demostrado ser un enfoque viable y sostenible que merece una atención más profunda y exploratoria.

Investigar la idoneidad de otros materiales para el dopado, así como explorar nuevas proporciones y combinaciones, podría revelar soluciones aún más eficaces desde el punto de vista ambiental. Nuevas investigaciones podrían centrarse en la durabilidad, la resistencia y la capacidad de adaptación de estos materiales en diversas condiciones climáticas y ambientales.

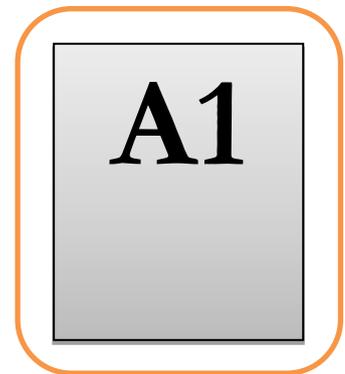
La convergencia de la sostenibilidad y la innovación tecnológica presenta otras oportunidades, como el uso de la inteligencia artificial en la producción de materiales de construcción dopados.

Por supuesto, la investigación no debe limitarse únicamente a los aspectos técnicos y ambientales. La comprensión del impacto socioeconómico de la adopción generalizada de materiales dopados es esencial. Investigar cómo esta práctica afecta la cadena de suministro, la creación de empleo y el desarrollo comunitario puede proporcionar una imagen más completa de su viabilidad a largo plazo.

Alejandro San Vicente Navarro

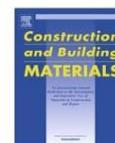


Diciembre de 2023



---

**ANEXO I - ARTÍCULO PUBLICADO  
EN “CONSTRUCTION AND  
BUILDING MATERIALES”**



## Thermal behaviour of hollow blocks and bricks made of concrete doped with waste tyre rubber



Esteban Fraile-García<sup>a,\*</sup>, Javier Ferreiro-Cabello<sup>a</sup>, Manuel Mendivil-Giro<sup>b</sup>,  
Alejandro San Vicente-Navarro<sup>b</sup>

<sup>a</sup>SCoDIP Group, Department of Mechanical Engineering, University of La Rioja, Spain

<sup>b</sup>GI-TENECO Group, Department of Mechanical Engineering, University of La Rioja, 26004 Logroño, Spain

### HIGHLIGHTS

- Bricks, slabs and joists made with of rubber particles from end-of-life tyres.
- Thermal behaviour depended on the doping percentage of rubber particles.
- Temperature gradient between the interior and the exterior increased to 5.6%.
- Advantageous way to reuse an abundant and problematic source of waste.
- These new products can be produced in a conventional production line.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 22 December 2017

Received in revised form 26 April 2018

Accepted 3 May 2018

#### Keywords:

Thermal behaviour  
Building elements  
Waste tyre rubber  
Doped concrete

### ABSTRACT

This study examines the thermal behaviour of light concrete construction elements (bricks, slabs and joists) made with different amounts of rubber particles (0%, 10% and 20%) from end-of-life tyres. Once the bricks, slabs and joists were obtained, three different closed test cells were built and subjected to several heating/cooling periods. By recording the temperature inside the cells and inside their enclosures (walls, ceilings, floors), it was found that the thermal behaviour depended on the doping percentage of rubber particles. The temperature gradient between the inside and the outside of the cell varied up to 5.6% in the case of using 20% lightener.

© 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.

### 1. Introduction and objectives

Recycling waste and reducing fossil fuel consumption represent some of the foremost ways to combat the devastating effects of global warming. Nevertheless, all kinds of human-created waste are systematically transported to landfills, sometimes without any prior treatment. For some time now, in an attempt to minimise waste and cut down on resource consumption, several industrial processes have been implemented to reincorporate waste and by-products in order to promote a so-called circular economy [1]. The construction sector is an ideal field to put these ideas into practice. Materials that include a significant amount of recycled waste, produced during other processes and often by other sectors,

are increasingly utilised. And what's more, incorporating these materials often improves certain properties of the final product.

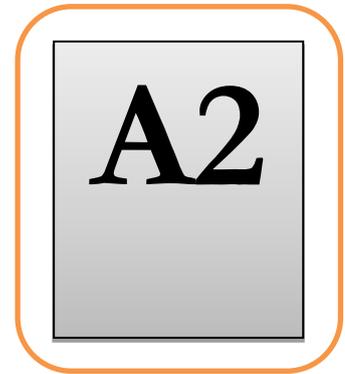
At this time concrete is the most important building material, primarily because of its mechanical properties, durability, malleability and high availability. Annual production of concrete is estimated at over ten billion tons [2]. However, such profuse use of concrete entails several drawbacks that result in a significant environmental impact. In fact, it is estimated that the cement industry (which is the main component of concrete) is responsible for about 7% of annual CO<sub>2</sub> emissions [3]. Progressively replacing cement with recycled materials in the concrete production process, to the extent possible, would reduce the aforementioned environmental impact. Past studies have already demonstrated that replacing certain natural aggregates with concrete residue from demolitions or by-products from the concrete industry is a viable option [4].

In addition, certain characteristics of some recycled materials added during the concrete manufacture process can improve

\* Corresponding author.

E-mail addresses: [esteban.fraile@unirioja.es](mailto:esteban.fraile@unirioja.es) (E. Fraile-García), [javier.ferreiro@unirioja.es](mailto:javier.ferreiro@unirioja.es) (J. Ferreiro-Cabello).

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.015>  
0950-0618/© 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.



---

## **ANEXO II - ARTÍCULO PUBLICADO EN “BUILDINGS”**

Article

## Alternative Use of the Waste from Ground Olive Stones in Doping Mortar Bricks for Sustainable Façades

Alejandro San Vicente-Navarro <sup>1</sup>, Manuel Mendivil-Giro <sup>2</sup>, Jorge Los Santos-Ortega <sup>1,\*</sup>,  
Esteban Fraile-García <sup>1</sup> and Javier Ferreiro-Cabello <sup>1</sup>

<sup>1</sup> SCoDIP Group, Department of Mechanical Engineering, University of La Rioja, 26004 Logroño, Spain; alejandro.san-vicente@unirioja.es (A.S.V.-N.); esteban.fraile@unirioja.es (E.F.-G.); javier.ferreiro@unirioja.es (J.F.-C.)

<sup>2</sup> GI-TENECO Group, Department of Mechanical Engineering, University of La Rioja, 26004 Logroño, Spain; manuel-antonio.mendivil@unirioja.es

\* Correspondence: jorge.los-santos@unirioja.es

**Abstract:** The aim of achieving sustainability in construction is a reality. A useful strategy to achieve this is the use of waste from agricultural activities. This waste could reduce the environmental impacts associated with the production of raw materials such as natural aggregate, reducing energy consumption from fossil fuels and therefore CO<sub>2</sub> emissions. This study examines the thermal conductivity of mortars doped with ground olive stones, a residual by-product of industrial processes. The objective is to evaluate the potential of ground olive stones to improve thermal insulation in construction. Ground olive stones are used as a partial replacement for the aggregates used in mortar bricks. The methodology followed herein to quantify the benefits of this product involves creating several types of mortar with a different percentage of ground olive stones in each sample (between 0% and 30%). Thermal conductivity was determined according to UNE-EN12939:2001. Finally, a case study is conducted performing an energy simulation of a residential building to determine the energy savings derived from reducing the combined thermal demands of heating and cooling and to analyse the feasibility of the alternative use of ground olive stone residue doped in mortar bricks for new sustainable façades. The results show a saving in energy demand (heating and cooling) of 0.938 kWh/m<sup>2</sup>·year when using 30% GOS-doped mortar bricks compared to the reference bricks. This is equivalent to a decrease in energy demand of 2.23% per square meter of façade. In addition, these annual energy savings are compared to the potential thermal energy created from the combustion of ground olive stones in a biomass boiler, which is the main traditional use of this waste today. It reveals that for a doping range of 5–15%, the recovery time ranges between 30 and 75 years, which is within the lifetime of a building. The results demonstrate the great viability of using ground olive stones as fine aggregates in mortars and their possible application in sustainable construction, in particular in more sustainable façades that allow energy savings in buildings and therefore a lower consumption of fossil, which will make it possible to reduce greenhouse gas emissions and the excessive consumption of resources.

**Keywords:** thermal conductivity; ground olive stone; mortar; perforated brick; façade; sustainability



**Citation:** San Vicente-Navarro, A.; Mendivil-Giro, M.; Los Santos-Ortega, J.; Fraile-García, E.; Ferreiro-Cabello, J. Alternative Use of the Waste from Ground Olive Stones in Doping Mortar Bricks for Sustainable Façades. *Buildings* **2023**, *13*, 2992. <https://doi.org/10.3390/buildings13122992>

Academic Editor: Antonio Caggiano

Received: 16 October 2023

Revised: 7 November 2023

Accepted: 28 November 2023

Published: 30 November 2023



**Copyright:** © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### 1. Introduction

Recycling waste and reducing fossil fuel consumption are pillars of the global strategy to combat the effects of climate change and global warming. Until recently, the majority of waste generated by human activities was deposited in landfills without further treatment or additional uses. Only within recent years have various industrial processes been launched to reincorporate and reuse waste and by-products with a clear mission to implement a so-called circular economy [1]. Minimizing waste and reducing the consumption of raw materials are some of the key objectives of this framework. The construction sector is an

ideal area to test out the idea of a circular economy, given that new mixed materials can be developed by incorporating waste from other processes (sometimes hailing from outside the sector). Adding such residues can improve some properties of the final product.

Concrete and mortar are two of the most important construction products, mainly due to their excellent mechanical properties, durability, mouldability, and availability. Their annual production is estimated at over ten thousand million tons [2]. However, the intensive use of mortar and concrete in the construction sector also entails a significant environmental impact. It is estimated that the cement industry (the main component in concrete) is responsible for around 7% of annual CO<sub>2</sub> emissions [3]. And globally, the construction sector accounts for 36% of global energy consumption [4]. Therefore, the natural trend for the sector in line with the new global climate change guidelines is to decarbonise the sector [5]. It is therefore essential to work on gradually substituting or evolving cement by incorporating other compounds or materials that reduce the aforementioned environmental impact while offering similar or better properties (strength, thermal, acoustic, etc.). Repurposing products traditionally considered waste in other industrial processes would promote a circular economy and represent an undeniable improvement.

Other studies have already corroborated the viability of replacing certain natural aggregates with concrete waste from demolition or by-products from the concrete industry itself [6–8] in order to apply it, for example, in lightweight concrete [9]. Mortar and concrete mixes capable of enhancing thermal insulation deserve special mention. Since the end of the 20th century, European guidelines on energy efficiency [10,11] have called for reducing energy consumption in buildings while maintaining low operating costs and without sacrificing comfort. This leads them to design building elements with higher thermal insulation performance. For instance, Parracha et al. evaluated the feasibility of doping mortars with insulating elements as a substitute for fine aggregates and their application in a prototype wall. The results show a decrease in the thermal conductivity of the material and, therefore, energy savings [12].

Thus, many recycled materials have already been used experimentally as additives to concrete with the goal of optimising thermal behaviour. Some examples include plastics from different sources and compositions [13–16]. For instance, research by Todaro et al. evaluated the potential of using Polyethylene Terephthalate (PET) from waste bottles without any treatment as a substitute for conventional aggregates in mortars. The results show that mortars with PET have a better response to energy absorption and tensile strength, as well as an increase in thermal insulation in the range of 65–84% better than the reference mortar [13]. In the field of plastics, rubber waste from end-of-life tyres is also found [17–20]. However, this waste is not only focused on improving the thermal behaviour of mortar or concrete but also on other properties. Such is the case of the research by Eskander et al., where they develop cement–polymer composites from polystyrene foam waste fractions with the aim of improving mechanical durability and the porosity of the cement [21]. Other types of waste include waste from the cement industry itself. The dust obtained in the cement production kiln itself is used as an additive in compressed earth blocks [22] or the sludge obtained from the water purification process is used to produce bricks without any amount of clay [23]. Several different studies have also been conducted with agricultural residues, such as: barley fibres [24–26], banana leaf ashes and fibres [27–29], peanut shells [30,31], cork particles [32–34], sawdust ashes [35–37], sugarcane bagasse ash [38–40], rice husk ash [41,42], and olive ash [33,43], and waste wood [44,45]. In the case of the use of wood waste, this is very similar to olive waste since, in comparison with natural aggregates, there is a significant difference in the densities. This is evidenced in the research of Ince et al., where they use wood waste powder as a substitute for mortar cement. The results show a loss in the mechanical properties of the doped mortars; however, this decrease is affordable for construction elements. On the other hand, the improvement in the environmental characteristics is highlighted, since a doping percentage of 5% means a reduction in CO<sub>2</sub> emissions of 10%, which confers an environmental advantage [44]. And the same applies to other bio-based elements [46]. As can be seen, the use of agricultural waste in the construction

sector is a technique that is becoming more and more widespread and applied. In the present study, the goal is to use ground olive stones (GOSs), a biomass residue, as a substitute for fine aggregates.

Olive stones are a by-product from the agri-food industry (olive oil industry) that are considered waste. This biomass residue is generated after all the oil has been extracted from the olive. Given that olive trees need to grow in relatively hot climates, in Europe, they are primarily found in Greece, Italy, and Spain (where summers are dry and hot, and winters are cold and slightly humid). The latter is the largest producer of olives in the world, with Spanish production constituting around 75% of the global total, at close to 6 million tons each year. Half of this production is dedicated to oil production, and thus, olive stones become a residue of this process. An olive stone is estimated to be 15% of the total weight of an olive; therefore, around 450,000 tons of olive stone are generated every year in Spain [47].

Olive stone residue is currently repurposed as biofuel in biomass boilers thanks to its high calorific value (approximately 4489 kWh/kg, according to the Institute for Energy Diversification and Saving, IDAE). It is also considered a renewable fuel with zero net CO<sub>2</sub> emissions throughout the life cycle of an olive tree. It is used as a heat source in homes, farms, food sector industries, and collective-use buildings (elderly homes, schools, administrative buildings, etc.). However, new uses are already being proposed for olive waste other than as biomass. Some of them are applied to the construction sector, and others to wastewater treatment. In the case of wastewater treatment, Abdelhamid et al. used a mixture of dried olive residues together with hyacinth to decontaminate wastewater containing cobalt and caesium in a stable and radioactive state [48].

However, previous studies proposed to use this residue in mortars and to study its thermal properties. The research evaluated by Barreca et al. studied the use of GOSs as a substitute for fine aggregates in conventional mortars in order to characterise their thermal transmittance. The authors proposed a dosage range of 0–70% GOSs in increments of 10% and 20% intervals. The results showed a reduction in thermal transmittance ( $W/m^2 \cdot K$ ) of 76% compared to a conventional mortar for a maximum doping range of 70%. They also indicated that, although the thermal transmittance was reduced, other physical properties such as density were also reduced (31% decrease for a doping of 70% GOSs). A maximum limit is proposed for the use of GOSs in mortars, since higher doping leads to instability of the mixture. Furthermore, they point out that this residue applied to the construction sector would be suitable for lightening elements and plaster layers to insulate walls and bricks [43].

The present study evaluates using GOSs to manufacture mortar with the goal of improving its thermal behaviour as an insulator. The main objective is to evaluate the thermal conductivity ( $W/m \cdot K$ ) of GOSs in mortars. However, in contrast to the study by Barraca et al., in this research, the doping range (0–30%) is considerably narrowed down, studying within this interval the possible variations that exist in small increments (5%) in order to obtain a series of data with the smallest possible deviation. In addition, considerations in terms of the mechanical strength (compression and bending) of the mortars were taken into account [49]. In order to find out whether these doped mortars have a minimum of structural safety for their application to prefabricated elements, the heat transfer capacity (thermal conductivity) is analysed in the various samples and tested in a laboratory using a machine designed to measure the thermal conductivity of different construction materials. This procedure verifies whether doping mortars with GOSs leads to an improvement in thermal insulation as compared to the original undoped mortar. Once the results of the thermal conductivity ( $W/m \cdot K$ ) of the mortar as a function of the levels of use of GOSs are obtained, we proceed to evaluate its application in the construction sector and quantify its advantages. To do this, a simulation of a residential building is carried out in which the façade is made using bricks doped with GOSs. In this way, its performance can be compared with that of a façade made with conventional bricks. Therefore, based on the results obtained, it is possible to justify a new use for this waste

and not its traditional destination, which is its combustion to obtain thermal energy. A reduction in the energy demands (heating and cooling) of the building is demonstrated when the façade is constructed with GOS-doped mortar bricks. The novelty obtained from this research lies in its ability to give conventional waste obtained as a result of the execution of an agricultural activity a new use, especially in the construction sector. This waste is converted back into raw materials, generating a circular economy that will help to obtain a more sustainable sector for society and the environment without losing the minimum safety and comfort properties for users.

**2. Materials and Methods**

**2.1. Materials**

The following materials are necessary to manufacture different samples of mortar doped with GOSs.

**2.1.1. Fine Aggregates**

Fine aggregates were used to manufacture mortars of the type AF-T-0/4-C with a maximum size of 4 mm and a density of 1634 kg/m<sup>3</sup>. Figure 1 shows the cumulative percentage of fine aggregate obtained through a sieve analysis according to EN 933-1 [50]. Their technical characteristics are shown in Table 1. In this study, the source of the fine aggregates is crushed limestone from a local quarry, stored upon receipt at ambient conditions (20 °C and 55% relative humidity).

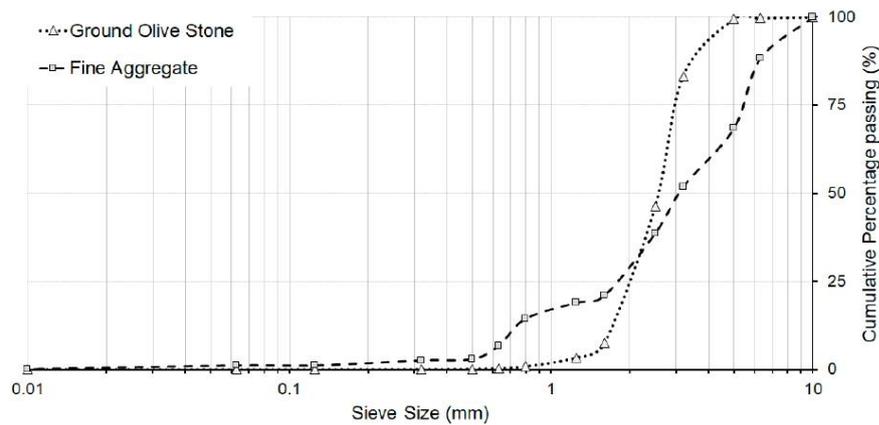


Figure 1. Fine aggregate and GOS granulometry.

Table 1. Technical characteristics of fine aggregates.

Tests	Results	Limits
Clay lumps, UNE 7-133 [51]	0.00%	<1%
Total sulphur compounds, UNE-EN 1744 [52]	0.082%	<1%
Water absorption by fine aggregate, UNE-EN 1097-6 [53]	1.19%	≤5%
Chlorides expressed in Cl <sup>-</sup> , UNE-EN 1744 [52]	0.001%	≤0.05%
Acid soluble sulphates, UNE-EN 1744 [52]	0.052%	<0.08%

**2.1.2. Water**

Water is extracted from the supply network without any additional treatment; it has a pH of 7.9 and a sulphur content of 590 ppm.

### 2.1.3. Ground Olive Stone

Traditional mortars do not include this material, but in the case of this study, GOSs are used to dope and create different types of mortars. Thus, it is a key material in this study. The GOSs used herein were obtained from the company Trujal 5 Valles, located in Arnedo (La Rioja, Spain). This cooperative is the main olive producer in the region, and for this reason, its production surpasses demand. The ground olive stones have not undergone any type of chemical transformation; they are simply GOSs obtained after grinding olives in the olive oil extraction process. These GOSs are processed through a natural drying process, removing excessive moisture content. An example of the GOSs is shown in Figure 2.



Figure 2. GOSs used into dope mortar.

The chemical composition is shown in Table 2. The GOSs have a density of 580.07 kg/m<sup>3</sup>. Their dimensions range between 1 and 4 mm, similar to those of the fine aggregates used. Figure 1 shows the cumulative percentage of GOSs found through a sieve analysis according to EN 933-1 [50].

Table 2. Chemical composition of GOSs.

Composition		Percentage
Chemical composition	C (%)	50.2
	O (%)	45.2
	H (%)	7.02
	N (%)	0.47
	S (%)	0.04
By component	Lignin (%)	32.1
	Hemicellulose (%)	34.8
	Cellulose (%)	26.9
	Soluble (%)	5.4
	Ash (%)	0.8

### 2.1.4. Cement

This product is obtained by mixing various elements, such as limestone and clay, to which a small amount of gypsum is added, along with other compounds. These are all ground together to obtain an extremely fine material.

The cement used herein is CEM II/B-M (V-L) 32.5 N from the brand Cements Portland Valderrivas (Madrid, Spain). It has a clinker percentage between 65% and 79%. This is a mix (between 21% and 35%) since it contains between 1% and 16% fly ash and between 0% and 20% limestone. It may also contain minor additional components, ranging from 0% to 5%. It has an initial strength of  $\geq 16.5$  MPa and a normal strength at 28 days between 32.5

and 52.5 MPa. The chemical composition of the material, supplied by Cements Portland Valderrivas S.A., is displayed in Table 3.

**Table 3.** General composition of Portland Valderrivas cement.

Material	Composition	Result (%)
Cementitious materials	SiO <sub>2</sub>	18.05
	CaO	62.96
	MgO	2.07
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.43
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.53
	SO <sub>3</sub>	3.08
	Loss on ignition	5.04

## 2.2. Samples Preparation

Since in this research, the use of GOSs is as a substitute for the volume of the total fine aggregates, different replacement percentages were proposed. These percentages vary between 0% and 30% of the total fine aggregate volume. Given also the differences in water absorption and our objective being to obtain mortars with a constant consistency, class S2, according to UNE-EN-12350-2 [54], the amount of water is modified as the amount of GOS increase [49]. These amounts of water for each mortar sample can be seen in Table 4 and vary according to the doping percentage of the mortar. It is important to bear in mind that increasing the percentage of GOSs diminishes the compressive strength the different mortars are capable of withstanding. This fact is reported in the research carried out by Ferreiro et al., where they evaluate the mechanical and physical characteristics (density, compression, and flexural strength) of GOS-doped mortars with different CEM II cements. For the specific case of using CEM II 32.5R, they indicate a GOS use range of 0–30% [49]. For this reason, only a range of GOS use in mortars of 0–30% is studied in this research.

**Table 4.** Type and quantity of material used to manufacture of mortar mix.

Sample	Fine Aggregate (kg)	Cement (kg)	Water (kg)	GOSs (kg)
M-0	40.0	8.0	6.50	0.00
M-5	38.0	8.0	6.33	0.71
M-10	36.0	8.0	6.16	1.42
M-15	34.0	8.0	5.99	2.13
M-20	32.0	8.0	5.82	2.84
M-25	30.0	8.0	5.65	3.55
M-30	28.0	8.0	5.48	4.26

This issue restricts the use of olive stones in construction, and for this reason, the thermal samples are made with a maximum percentage of 30% GOSs. The mix names are identified as the volume percentage of fine aggregates substituted by GOSs. The following percentages are examined:

- M-0: 100% fine aggregate.
- M-5: 95% fine aggregate + 5% GOS.
- M-10: 90% fine aggregate + 10% GOS.
- M-15: 85% fine aggregate + 15% GOS.
- M-20: 80% fine aggregate + 20% GOS.
- M-25: 75% fine aggregate + 25% GOS.
- M-30: 70% fine aggregate + 30% GOS.

Samples of mortar measuring 0.30 m × 0.30 m × 0.05 m are created. Fine aggregates are used in the conventional manufacturing process of undoped mortar. The rest of the materials, water, cement, and GOSs, are used to dope the mortar.

Three different batches are manufactured (L1, L2, and L3), each consisting of two samples for all the different doping ratios. In all, six samples are made for each of the seven types of mortar. These types differ according to the percentage of GOSs they contain.

The amounts used of each material are listed in Table 4, depending on the percentage of ground olive stones used (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30%). The values in Table 4 correspond to the quantities of materials used for the creation of each mortar mix.

#### 2.2.1. Mould Assembly

Before the assembly process, each of the moulds is cleaned, and a uniform layer of liquid release agent is applied to them with a brush to facilitate their extraction. Subsequently, the screws are inserted into the moulds.

#### 2.2.2. Mould Filling

Once the moulds were prepared, they were filled with the mortar. Beforehand, the mortar underwent an Abrams cone test to determine if the mix was viable or not. Only mortars that passed this test were utilised. The moulds were filled in two pours to improve product vibration. The first vibration was conducted when each mould was half-full, and the second when the mould was completely full. And lastly, each mould was levelled off with a trowel.

#### 2.2.3. Curing Process, Demoulding and Coding Samples

The minimum curing time was 24 h (1 day), although the samples ended up staying in the moulds for 3.5 days (approximately 84 h). The moulds were left uncovered (Figure 3) to dry inside an industrial warehouse protected from solar radiation and rain and completely sheltered from inclement weather. The temperature did not fluctuate very much from day to day (generally, the temperature inside the industrial warehouse is approximately 20 °C and the relative humidity is 55%); thus, all the samples could be considered to have followed a similar manufacturing and curing process. This method was chosen instead of immersing them in water in order to carry out a curing process similar to that of the prefabricated elements manufactured in factories. In general, precast manufacturing factories usually carry out the curing process in the open air, but inside an enclosed building or enclosure, similar to the one used in this research. This was carried out since the purpose of this mortar will be its possible use in these types of elements.



Figure 3. Curing of mortar samples (0.30 m × 0.30 m × 0.05 m).

Finally, the mortar samples were extracted from their moulds, taking care to avoid any damage by loosening and removing the screws holding the frame. A label with the corresponding code, which includes the sample number, was placed on each of the samples.

The time from the demoulding of the test samples to their use in the tests was 90 days. With this proposed curing method, it is possible to replicate the manufacturing conditions of serial prefabricated elements, as well as to make the curing conditions known so that they can be replicated by other authors.

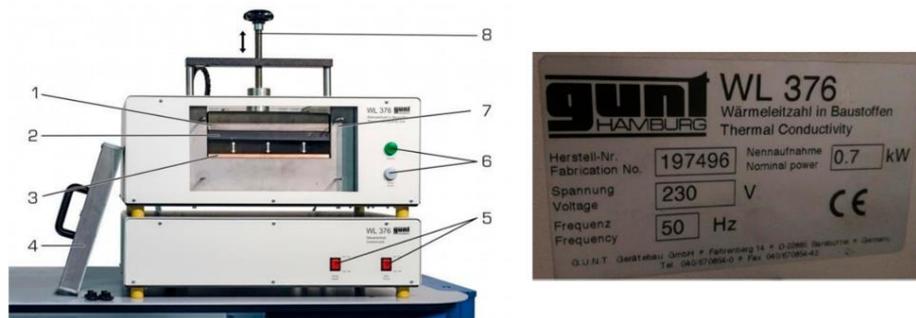
**2.3. Testing Method**

This experiment analyses the thermal conductivity of different mortar samples with and without GOSs according to the procedure established by UNE-EN 12939:2001 ERRATUM:2009, “Thermal performance of building materials and products—Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods—Thick products of high and medium thermal resistance” [55].

Thermal conductivity ( $\lambda$ ) is defined as the capacity of each material to transfer energy in the form of heat via conduction (direct contact, without exchange of matter) spontaneously and from the body with the highest temperature to the body with the lowest temperature. The unit used to measure thermal conductivity in the international system is W/m·K. Thermal conductivity is very high in metals (strong thermal conductors) and very low in insulating materials or polymers (thermal insulators).

**2.3.1. GUNT WL 376**

The machine used in this study to calculate thermal conductivity ( $\lambda$ ) is model WL 376 (Figure 4) by the company GUNT Hamburg. In this case, the materials to be analysed are mortars doped with GOSs in different percentages.



**Figure 4.** Thermal machine GUNT WL 376 and parts. 1. Hot plate insulation. 2. Hot plate. 3. Cold plate. 4. Cover for insulation casing. 5. Main switch and heat switch. 6. LED lights. 7. Insulation casing. 8. Pressure spindle.

The machine has a power of 500 W and can test 0.3 m × 0.3 m square samples on each side and up to a 0.05 m thickness, or a combination of different-sized samples as long as they do not exceed this thickness. The machine is capable of analysing all kinds of construction materials as long as they are not metallic.

After switching on the machine, the moving part of the machine raises to the stop, with the help of a spindle. Then, the sample is introduced without touching the cold plate or the hot plate to avoid damaging the sensors these plates have on their surface. Once the sample is in place, the hot plate is adjusted using the pressure spindle and rotated until it comes into contact with the cold plate, eliminating any air between the hot plate and the sample. Then, the cover of the insulation casing is closed to completely seal the system and, therefore, avoid any heat loss. To this end, fixed bolts must be inserted, and nuts are placed and tightened to prevent heat from escaping. And finally, the refrigerator is powered on, and the main water stopcock is opened to allow water to pass through and the cold plate to be cooled.

### 2.3.2. GUNT WL 376 Software Version 2.3

Next, the GUNT WL 376 software, version 2.3, included with the machine, is initiated, and the test data are entered on the main screen, called the 'system diagram':

- Hot plate temperature (30 °C, 40 °C, and 50 °C in three tests).
- Cold plate temperature (20 °C).
- Sample thickness (50 mm).

On this screen, the valve that allows the cooling water to pass through to the cold plate can also be opened. The 'Chart' screen indicates how the program should collect data (in this case, every 10 s). The temperature of the cold plate remains practically constant at 20 °C throughout; while the temperature of the hot plate varies. However, the cold plate's temperature does change slightly because as the hot plate's temperature varies, the refrigerator is not able to keep the cold plate at a constant temperature. Three tests are conducted on each of the samples while varying the working temperature: 20–30 °C, 20–40 °C, and 20–50 °C.

Pressing the start button creates a new data file that collects all the thermal conductivity ( $\lambda$ ) values obtained until the test is terminated. At that point, the thermal conductivity is displayed on the 'System Diagram' screen, stabilises, and does not vary for at least 20 min to the second decimal place.

### 2.3.3. Obtaining the Parameter $\lambda$

The data obtained in the data file are exported to a spreadsheet, where all the values of  $\lambda$  are selected, which are constant, that is, at least the data collected during the last 20 min of testing. The thermal conductivity is tested to confirm whether it is consistent. If it is, the same cold plate temperature data interval is selected and plotted. If not, a data interval should be sought where  $\lambda$  is constant during the stipulated time. If this cannot be determined, the test must be repeated. Subsequently, the average temperature value is calculated, with the average temperature value of the cold plate (average of the selected data) and the temperature of the hot plate (data). These steps are carried out three times, once for each temperature range (20–30 °C, 20–40 °C, and 20–50 °C). Once the average value of the cold and hot temperatures and conductivity,  $\lambda$ , of each of the three temperature ranges are tested, the three points are plotted, the trend line is added, and the equation is obtained.

## 3. Thermal Results

This section begins by first explaining the results of the thermal conductivities obtained in the tests. This preliminary explanation of these results demonstrates the capacity of GOSs to reduce the thermal conductivity of the material in which they are embedded, in this case, mortar, and, consequently, to introduce their insulating capacity in a specific application such as prefabricated mortar elements applied to a new sustainable construction.

Table 5 shows the results obtained in the thermal test. Each value in the table is the arithmetic average of the results obtained for two samples of each batch (L1, L2, and L3) and their different doping percentages.

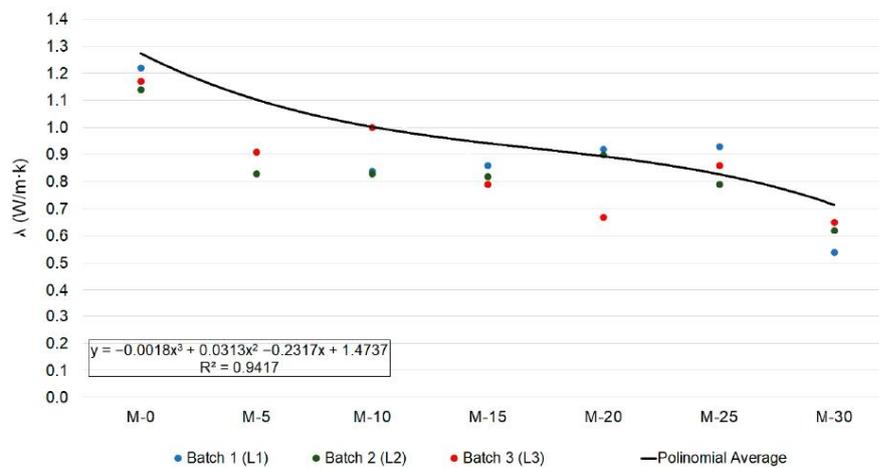
**Table 5.**  $\lambda$  conductivity values obtained for batches with different doping percentages.

Sample	Thermal Conductivity, $\lambda$ (W/m·k)		
	Batch 1 (L1)	Batch (L2)	Batch (L3)
M-0	1.22	1.14	1.17
M-5	0.86	0.83	0.91
M-10	0.92	0.83	1.00
M-15	0.93	0.82	0.79
M-20	0.54	0.90	0.67
M-25	0.67	0.79	0.86
M-30	0.55	0.62	0.65

Based on the data obtained from the thermal samples, a third-degree polynomial regression curve is drawn to predict the value of thermal conductivity ( $\lambda$ ) based on the percentage of GOSs included. In this sense, let us recall that a third-degree polynomial regression is the fit (based on the least squares) of a curve, with the expression described in (1)

$$y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d \tag{1}$$

where a, b, c, and d are the parametric coefficients of the equation to calculate. To complete this equation, the average value of all the thermal conductivities obtained for the samples with the same percentage % of ground olive stones is used in order to obtain more uniform data. Figure 5 shows the graph obtained from the tests.



**Figure 5.** Third-degree polynomial regression curve of the results.

Equation (2) allows us to approximate the thermal conductivity ( $\lambda$ ) of the mortars based on their percentage of olive stones:

$$\lambda \text{ (W/m}\cdot\text{K)} = -0.0018 \cdot x^3 + 0.0313 \cdot x^2 - 0.2317 \cdot x + 1.4737 \tag{2}$$

where x is the percentage of olive stones added to the mixture, calculated as shown in (3).

$$x = (\% \text{ Olive stone in mix} / 5) + 1 \tag{3}$$

The relative predictive power of a polynomial model is denoted by the value of R2 (also known as the determination coefficient), which varies between 0 and 1 and is a statistical measure of how close the data are to the fitted regression. The closer the value is to 1, the more accurate the model in general, since the higher R2 is, the better the model fits the data. For the object of study herein, this value is 0.9417.

All the current energy efficiency directives approved by the European Union highlight environmental sustainability as a strategic pillar of energy policy. By adding a certain percentage of GOSs to mortar, the resulting thermal conductivity decreases proportionally, dropping by up to 43.94% compared to the non-doped mortar in the case of mortar with 30% olive stones.

#### 4. Discussion

Comparing the results obtained with previous research shows a similar trend of results. For instance, the research by Barreca et al. obtained a thermal transmittance (U) value

of  $36.10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  for a GOS percentage of 20%. In addition, the thickness (e) of the test specimen they used was 0.02 m [43].

$$U(\text{W/m}^2\cdot\text{K}) = \lambda (\text{W/m}\cdot\text{K})/e(\text{m}) \rightarrow \lambda = U \cdot e \tag{4}$$

Therefore, the value of the thermal conductivity ( $\lambda$ ) can be obtained from (4) with a value of  $0.722 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . In the results of the current investigation, the average value for a percentage of 20% was  $0.703 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . This shows a decrease of 2.59% between the two studies. Figure 6 shows the comparative results obtained for thermal conductivity ( $\lambda$ ) in comparison with those of the research by Barraca et al. [43].

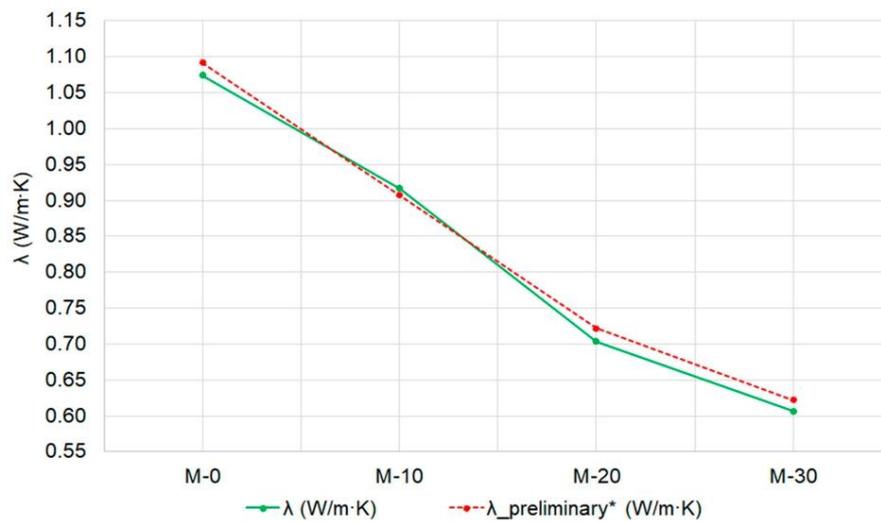


Figure 6. Comparison of thermal conductivities,  $\lambda$  (W/m·k). \* [43].

As can be seen, the trend lines of the thermal conductivities ( $\lambda$ ) are very similar for both studies. However, an improvement is observed in the current investigation for the thermal conductivities. This improvement is very small, ranging from 1.63% to 2.59%. On the other hand, for a doping of 10%, the research by Barraca et al. achieves an improvement in the thermal conductivity coefficient of 1.07% with respect to that obtained in this research [43]. This comparison is an attempt to justify the similar trend in the results obtained between the two studies, in addition to confirming the fact that GOSs can be considered a material that reduces the thermal conductivity coefficient.

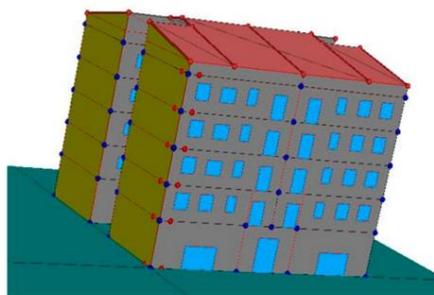
Thus, incorporating GOSs into mortar not only reduces thermal conductivity but it is also capable of enhancing the thermal insulation of building enclosures. This type of mortar with a certain percentage of doping can be put to different uses in construction, such as the manufacturing of vaults, mortar bricks for façades or non-loaded partition walls, lightening pieces, or even thermal insulation with layers of mortar coating. However, this research will focus on its use in mortar bricks. Incorporating such elements would translate into a reduced energy demand for buildings, along with a subsequent decrease in CO<sub>2</sub> emissions and overall energy savings. Repurposing an abundant source of waste, such as olive stones, also renders such applications very interesting from an environmental and social sustainability standpoint.

### 5. Case Study: Energy Simulation of the Application of Mortar Bricks with GOSs

This energy simulation aims to determine the reduction in combined energy demand (heating and cooling) that occurs in a façade-type SATE. The results are compared with the traditional way of using GOS waste, that is, its combustion to obtain thermal energy.

Given the satisfactory results obtained for the coefficient of thermal conductivity ( $\lambda$ ) and in order to assess the possible practical benefits of mortar doped with GOSs, an energy simulation study is conducted with a model of a new building that meets the current Technical Building Code [56]. The Technical Building Code stipulates energy demands according to the different climate zones in Spain. All the resulting models are calculated with the LIDER-CALENER Unified Tool version 2.0.2412.1173 [57]. This software is authorized by the Spanish Ministry for the Ecological Transition and Demographic Challenge to assign energy certifications to buildings and to inform the demand requirements and energy consumption levels included in the Technical Building Code.

To prepare the prototype, a residential block of flats is chosen, as outlined in model 6.2 of the document “Energy qualification of existing IDAE buildings” [58]. A model plan is used with a main façade of 21 m to the south and the rear to the north, and a 20 m perpendicular partition wall (east and west) in a quasi-square shape. Two small patios measuring  $4 \times 4$  ( $16 \text{ m}^2$  each) open onto the two dividing façades. The 3D volumetric model is shown in Figure 7.



**Figure 7.** The 3D Building model.

The block of flats used in the simulation consists of

- A ground floor: 4 m-high mezzanine and ground floor with common access and two commercial premises.
- Four residential floors: 4 flats per floor measuring about  $90.75 \text{ m}^2$  per flat (3 m of height between floors).
- A top floor with an inclined roof: storage rooms and lift machine room.

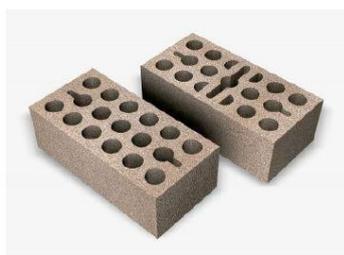
The thermal enclosure of the building consists of a set of enclosures (floors, roofs, façades, etc.) that separate the living spaces from the exterior (ground, air, and other buildings) and the interior partition walls that separate the habitable spaces from the non-habitable ones, which in turn are in contact with the outside. The enclosure of the modelled building includes the following types of enclosures shown in Table 6.

The objective is to calculate the reduction in combined heating and cooling energy demand ( $\text{kWh}/\text{m}^2$  and year) from replacing two 11.5 cm-thick GERO brick sheets of conventional perforated mortar (according to the calculation software database) in the façade with another type of GERO brick of the same characteristics but with a percentage of GOSs.

The perforated GERO bricks have circular or diamond-shaped holes. The total volume of the perforations is between 25% and 50% of the total volume of the brick. Figure 8 shows an example of a perforated GERO brick.

**Table 6.** Total area of thermal enclosure of the building.

Element	Area (m <sup>2</sup> )
Façades	988.52
Space	175.08
Partitions	569.60
Roofs	395.71
Floors in contact with Earth	388
Total	2516.91


**Figure 8.** Example of perforated GERO brick.

The following table specifies the thermal conductivity of the mortar brick (both solid and perforated) measuring 25 cm × 11.5 cm × 10 cm, according to the Catalogue of Construction Elements of the Technical Building Code in Spain [59] for mortar with a density of 2000 kg/m<sup>3</sup>. The following values, as shown in Table 7, are used as a reference in this study.

**Table 7.** Values of for mortar, according to the CTE. Source: Construction Elements Catalogue [59].

Material	Dimensions (cm)	Mortar Density (kg/m <sup>3</sup> )	λ (W/m·K)
Solid Brick	25 × 11.5 × 10	2000	1.714
Perforated GERO Brick	25 × 11.5 × 10	2000	1.091

The solid brick used for the calculation has a total volume of 2875 cm<sup>3</sup> of mortar. In the perforated GERO brick, the mortar volume decreases to 1603.3 cm<sup>3</sup>, as it has a total of 18 holes of 3 cm in diameter. The percentage (%) mortar volume of the total brick is 55.77%. Therefore, the % volume of the holes is 44.23%. Likewise, the conductivity reduction coefficient due to air gaps between the solid brick and the perforated brick is 0.64.

The rest of the elements in the enclosure (the windows, doors, dividing walls, roofs, and floors in contact with the ground) are not modified during the simulation. They are, however, adapted to the requirements included in the Technical Building Code [56] according to Spain's five different climate zones. Figure 9 shows the existing climate zones in Spain.

The façade under study herein is a SATE façade, which is an exterior thermal insulation system consisting of a prefabricated insulating panel attached to a brick wall (in this case, expanded polystyrene, EPS) that is mechanically fixed with adhesive or anchors. The insulation is protected with an external coating consisting of a 3 cm layer of mortar that also incorporates a reinforcing mesh and is applied directly to the insulating panel without air gaps or a discontinuous layer. For the present study, the composition of the enclosure of the SATE façade (exterior thermal insulation system) for the building simulation is as follows:

- 1. A 3 cm-thick layer of mortar with  $\lambda = 1.254$  W/m·K.
- 2. Extended polystyrene insulation with  $\lambda = 0.037$  W/m·K of variable thickness depending on the climate region:

- Zone A (Almería): 4 cm
  - Zone B (Sevilla): 5 cm
  - Zone C (Barcelona): 8 cm
  - Zone D (Logroño): 11 cm
  - Zone E (Soria): 12 cm
- 3. A perforated GERO brick that is 11.5 cm thick with  $\lambda = 1.097 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ .
  - 4. A 2 cm-thick vertical air chamber without ventilation.
  - 5. A perforated GERO brick that is 11.5 cm thick with  $\lambda = 1.097 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ .
  - 6. Plaster finish, 2 cm-thick.



Figure 9. Climate zones according to the Spanish Technical Building Code.

Layers 3 and 5 are modified in the simulations with a GERO perforated brick from the program database with another of the same dimensions and characteristics but with the addition of 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30% GOSs and with the conductivity values obtained in the tests multiplied by the coefficient 0.64 (conductivity ratio between the perforated brick and the solid brick).

A key aspect that must be fulfilled is that the thermal transmittance ( $U$ ) of the façade for the various cases of study must be lower than the maximum allowable thermal transmittance ( $U_{MAX}$ ) established by the Technical Building Code according to its climatic zone. This  $U_{MAX}$  parameter is imposed in the DA DB-HE1 document [56]. These values are shown in Table 8, as along with the values of the thermal transmittances ( $U$ ) for each case of study evaluated, including for the façade configuration, in which there is no doping of the mortar bricks. As can be seen, in no case is this limit value exceeded.

Table 8. Values of the total thermal transmittances ( $W/m^2\cdot K$ ) for each doping percentage and reference percentage as well as the maximum admissible transmittances,  $U_{MAX}$  ( $W/m^2\cdot K$ ), depending on the climatic zone.

Climate Zone	$U_{MAX}$ ( $W/m^2\cdot K$ )	$U_{REF}$ ( $W/m^2\cdot K$ )	$U_{5\%}$ ( $W/m^2\cdot K$ ) $\lambda = 0.676$	$U_{10\%}$ ( $W/m^2\cdot K$ ) $\lambda = 0.603$	$U_{15\%}$ ( $W/m^2\cdot K$ ) $\lambda = 0.551$	$U_{20\%}$ ( $W/m^2\cdot K$ ) $\lambda = 0.510$	$U_{25\%}$ ( $W/m^2\cdot K$ ) $\lambda = 0.477$	$U_{30\%}$ ( $W/m^2\cdot K$ ) $\lambda = 0.449$
A—Almería	0.500	0.410	0.389	0.383	0.378	0.373	0.369	0.365
B—Sevilla	0.380	0.369	0.352	0.347	0.343	0.339	0.335	0.332
C—Barcelona	0.290	0.284	0.274	0.271	0.268	0.266	0.264	0.262
D—Logroño	0.270	0.231	0.224	0.222	0.220	0.219	0.217	0.216
E—Soria	0.230	0.217	0.211	0.209	0.208	0.206	0.205	0.204

Total area of façade replaced: 988.52 m<sup>2</sup>

Therefore, multiple thermal simulations are carried out to calculate the reduction in the combined annual heating and cooling demand ( $kWh/m^2$  and year), replacing the

conventional perforated GERO brick with another brick doped with GOSs in the 988.52 m<sup>2</sup> façade of the modelled building. The results obtained are shown in Table 9. As can be seen, the first column of Table 9 refers to the different climatic zones in Spain according to the Technical Building Code [56]. The second column corresponds to the sum of the heating and cooling demands for the reference case study building. In this case, the façade does not have any type of insulation. The remaining columns show, depending on the percentage of GOS doping in the GERO perforated bricks, the combined energy savings in heating and cooling. Therefore, to find out, for example, the total energy demand of the building for a climate zone type E in which the doping percentage is 20%, it is necessary to subtract from the reference energy demand of 54,391.8 kWh/year the energy savings that are produced with a doping percentage of 20%, which is equivalent to a value of 788.1 kWh/year. The result is 53,603.7 kWh/year, which is equivalent to a decrease of 1.45% in energy demand.

**Table 9.** Total annual energy savings (988.52 m<sup>2</sup> façade) thanks to the incorporation of olive stones, according to climate zones. \* The reference demands (kWh/year) are the sum of the heating and cooling demands for the whole building and for the reference case where the mortar bricks are undoped.

Combined Energy Savings for Heating and Cooling (kWh per Year)							
Climate Zone	Reference Demand *	Perforated Brick with % Doping					
		5% $\lambda = 0.676$	10% $\lambda = 0.603$	15% $\lambda = 0.551$	20% $\lambda = 0.510$	25% $\lambda = 0.477$	30% $\lambda = 0.449$
A—Almería	32,208.8	399.9	515.4	612.5	696.0	772.4	843.8
B—Sevilla	40,952.0	469.0	608.1	720.0	826.3	918.0	1006.4
C—Barcelona	33,536.9	431.5	553.1	659.4	761.3	855.5	934.7
D—Logroño	45,841.2	381.3	495.6	589.9	690.5	772.5	858.6
E—Soria	54,391.8	442.8	567.0	669.1	788.1	884.6	990.8
Total area of façade replaced: 988.52 m <sup>2</sup>							

The best results in terms of the percentage reduction in the combined heating and cooling demand occur in the case of climate zone type C and in the specific case of 30% doping. In this case, the energy demand is reduced by 2.787%. On the other hand, the worst reduction percentage occurs in the case of a climate zone type E and in the case in which the bricks are doped with a minimum percentage of 5%. For this configuration, the percentage of reduction in the demand is 0.814%. Finally, it should be noted that the average value for the five climatic zones gives a percentage reduction in demand of 1.726%.

As can be seen, the energy savings of the combined thermal demand for heating and cooling (kWh and year) are greater for the higher percentages of doping, but the amount of GOSs that must be incorporated into the mortar is also greater. Table 10 shows, for the modelled façade, the average energy savings ratio (in five climate zones) as a function of the doping percentage. These energy savings include heating and cooling demands.

**Table 10.** Average energy savings per m<sup>2</sup> of façade thanks to the incorporation of ground olive stones.

Combined Energy Savings for Heating and Cooling (kWh per Year)						
Average energy savings per m <sup>2</sup> of façade	Perforated brick with % doping					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
	0.430	0.554	0.658	0.761	0.850	0.938

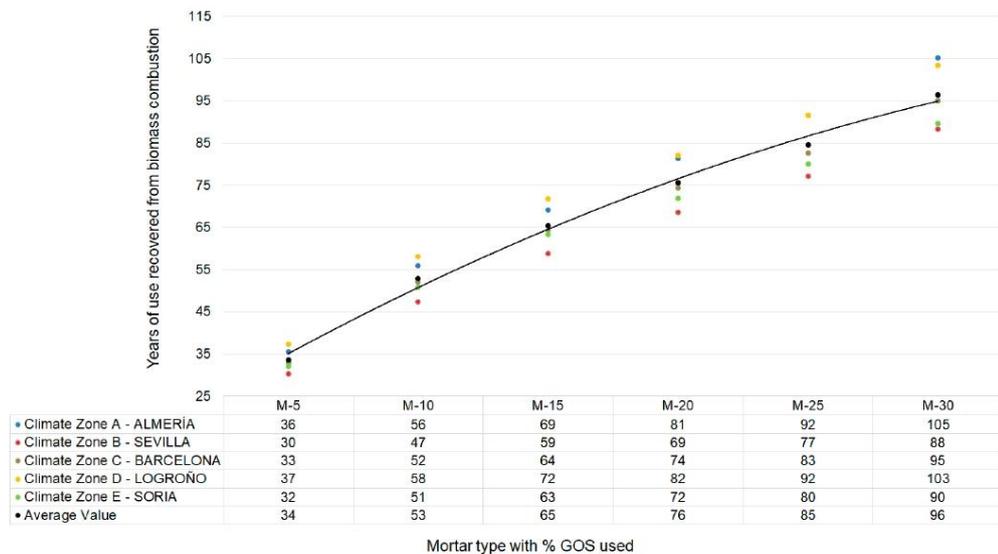
Once the energy savings in the building façade are known, they are compared with the traditional use of GOSs. GOSs are usually combusted in a biomass boiler. This comparison is carried out in order to know how long it would take to recover the energy in the building instead of burning it.

A lower calorific value is used for GOSs of 4489 kWh/kg, according to the document “Lower calorific values of primary energy sources” by the IDAE [60]. And a useful energy performance of 75% in combustion is considered, thereby quantifying losses in the boiler and in heat distribution. Taking into account the amount of GOSs added to each type of mortar, the following values are obtained for useful heat energy, as shown in Table 11.

**Table 11.** Equivalent useful energy from olive stone combustion \* Façade surface area: 988.52 m<sup>2</sup>; \*\* PCI olive stone (kWh/kg): 4489.

Mortar Type	Quantity of GOSs per m <sup>2</sup> Façade (kg/m <sup>2</sup> ) *	Total GOSs in Façade (kg)	Combustion Energy PCI Olive Stone (kWh) **	Useful Energy with Combustion Performance of 75% (kWh)
M-5	4.27	42,220.30	18,944.91	14,208.68
M-10	8.65	8546.30	38,364.33	28,773.24
M-15	12.73	12,579.81	56,470.76	42,353.07
M-20	17.01	16,817.55	75,494.00	56,620.50
M-25	21.25	21,008.18	94,305.73	70,729.30
M-30	26.69	26,383.85	118,437.10	88,827.83

And lastly, the combustion energy recovery time is considered in conjunction with the savings derived from the reduced combined heating and cooling demand generated by doping the mortar. The values obtained are displayed in Figure 10.



**Figure 10.** Years of use recovered thanks to façade made with ground-olive-stone-doped mortar (26.5 cm thick) rather than combustion combined heating and cooling demand.

As can be observed, the best results are obtained with doping between 5% and 15%, where the average recovery period ranges from 30 to 70 years within the useful life of a building built in compliance with current regulatory requirements. It is concluded, therefore, that incorporating GOSs to manufacture a doped mortar and adding it to perforated bricks for façades makes it possible to recover, within the useful lifetime of a building, the useable energy that can be obtained by combusting olive stone in a biomass boiler.

Thus, this application offers benefits in terms of energy savings while also recycling an agricultural waste product: ground olive stones.

In view of the results shown in this research, future lines of research on the use of GOSs in mortar bricks for the manufacturing of sustainable façades will focus on analysing its economic, social, and environmental costs. In other words, they will evaluate the economic profitability of using this waste in prefabricated elements in a hypothetical industrial production, in addition to evaluating its social impact and assessing whether there is any social advantage, such as the generation of new jobs. And finally, future research should environmentally characterise, through the Life Cycle Analysis (LCA) tool, the possible environmental benefits of producing prefabricated mortar elements doped with GOSs.

## 6. Conclusions

The most significant conclusions obtained from this research are shown below.

The replacement of a volume percentage of fine aggregates by GOSs in mortars implies a decrease in the coefficient of thermal conductivity ( $\lambda$ ) of the mortar. Specifically, for an additive doping of 5%, this reduction is 15.66%. This is equivalent to reducing a thermal conductivity value of 1.26 W/m·K to a final value of 1.05 W/m·K.

In addition, the research shows that the higher the doping percentage, the greater the influence it has on the reduction in the thermal conductivity coefficient ( $\lambda$ ). This is particularly relevant in the case of a doping percentage of 30%, where the thermal conductivity coefficient ( $\lambda$ ) decreases to a value of 0.607 W/m·K, which is 43.94% less than the reference value.

The anomalies and oscillations shown in the graphs are due to the moisture that the GOSs and fine aggregates absorb from the environment before manufacturing; hence, there is a need to carry out several test batches in order to obtain average values with minimal deviations.

Due to the rewarding results obtained in terms of the reduction in the thermal conductivity coefficient ( $\lambda$ ), specific uses for this agricultural waste are proposed, such as the elaboration of mortar bricks for the manufacturing of more sustainable façades. In this way, a new way of using this agricultural waste is proposed in addition to the traditional way of using it as a source of biomass.

The results of the building energy simulation support the feasibility of incorporating GOSs in mortar bricks for the manufacturing of sustainable façades, where two façade leaves are composed of GOS-doped mortar bricks. For example, in the specific case where the bricks are doped with 5% GOS, there are savings in combined heating and cooling demands of 0.43 kWh per square metre of façade on an annual basis. And for a doping value of 30%, there is an energy saving of 0.938 kWh/m<sup>2</sup>·year.

This reduction in the energy demands of heating and cooling for new buildings implies avoiding the consumption of traditional fossil fuels, such as natural gas, to meet these demands or reducing the consumption of electricity. This is associated with a reduction in CO<sub>2</sub> emissions and the sustainability of the sector.

Finally, the energy savings obtained by using GOSs in mortar bricks for sustainable façades were compared with the most common way of using this agricultural waste today, which is to obtain thermal energy in boilers. The results show a recovery range of 30 to 70 years (depending on the utilisation rate of GOSs).

The most viable outcome of this payback period is to dope the GERO perforated brick with 5% GOS, as it has a payback period between 30 and 37 years, which is approximately half of a building's lifetime (50~75 years).

This research has demonstrated the feasibility of using agricultural waste such as GOSs in the construction sector due to their improved thermal properties in their application to mortar bricks that reduce the energy demands (heating and cooling) of a new building. An alternative use for this agricultural waste is proposed, establishing future lines of research such as economic, social, and environmental analyses.

**Author Contributions:** Conceptualization, A.S.V.-N., M.M.-G., E.F.-G. and J.F.-C.; methodology, A.S.V.-N., E.F.-G. and J.F.-C.; software, A.S.V.-N., J.L.S.-O., M.M.-G., E.F.-G. and J.F.-C.; validation, M.M.-G., E.F.-G. and J.F.-C.; formal analysis, A.S.V.-N., M.M.-G., E.F.-G. and J.F.-C.; investigation, A.S.V.-N., J.L.S.-O., M.M.-G., E.F.-G. and J.F.-C.; resources, A.S.V.-N., J.L.S.-O., M.M.-G., E.F.-G. and J.F.-C.; data curation, A.S.V.-N. and J.L.S.-O.; writing—original draft preparation, A.S.V.-N. and J.L.S.-O.; writing—review and editing, A.S.V.-N. and J.L.S.-O.; visualization, M.M.-G., E.F.-G. and J.F.-C.; supervision, M.M.-G., E.F.-G. and J.F.-C.; project administration, E.F.-G. and J.F.-C.; funding acquisition, M.M.-G., E.F.-G. and J.F.-C. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by University of La Rioja, grant number REGI2023/2021. Also the author Jorge Los Santos is a pre-doctoral researcher funded by the University of La Rioja and the Santander Bank.

**Data Availability Statement:** Data are contained within the article.

**Acknowledgments:** We are very grateful to the University of La Rioja, and the company Trujal 5 Valles for their support.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

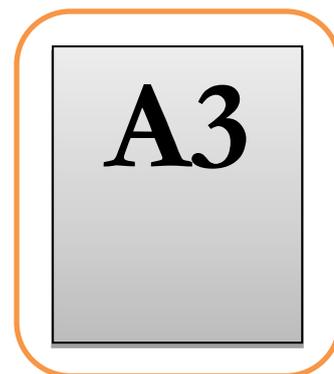
## References

1. Andersen, M.S. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustain. Sci.* **2007**, *2*, 133–140. [[CrossRef](#)]
2. Meyer, C. The greening of the concrete industry. *Cem. Concr. Compos.* **2009**, *31*, 601–605. [[CrossRef](#)]
3. Malhotra, V.M. Global Warming, and role of supplementary cementing materials and superplasticisers in reducing greenhouse gas emissions from the manufacturing of Portland cement. *Int. J. Struct. Eng.* **2010**, *1*, 116–130. [[CrossRef](#)]
4. Chen, L.; Huang, L.; Hua, J.; Chen, Z.; Wei, L.; Osman, A.I.; Fawzy, S.; Rooney, D.W.; Dong, L.; Yap, P.S. Green construction for low-carbon cities: A review. *Environ. Chem. Lett.* **2023**, *21*, 1627–1657. [[CrossRef](#)]
5. Georgiades, M.; Shah, I.H.; Steubing, B.; Cheeseman, C.; Myers, R.J. Prospective life cycle assessment of European cement production. *Resour. Conserv. Recycl.* **2023**, *194*, 106998. [[CrossRef](#)]
6. Fraile-García, E.; Ferreiro-Cabello, J.; López-Ochoa, L.M.; López-González, L.M. Study of the technical feasibility of increasing the amount of recycled concrete was used in ready-mix concrete production. *Materials* **2017**, *10*, 817. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Halahla, M.A.; Akthar, N.M.; Almasri, H.A. Utilization of Demolished Waste as Coarse Aggregate in Concrete. *Civ. Eng. J.* **2019**, *5*, 540–551. [[CrossRef](#)]
8. Akhtar, N.M.; Jameel, M.; Ibrahim, Z.; Bunnori, M.N. Incorporation of recycled aggregates and silica fume in concrete: An environmental savior—a systematic review. *J. Mater. Res. Technol.* **2022**, *20*, 4525–4544. [[CrossRef](#)]
9. Junaid, F.M.; Rehman, U.Z.; Kuruc, M.; Medved, I.; Bacinskas, D.; Curperk, J.; Cekon, M.; Ijaz, N.; Ansari, W.S. Lightweight concrete from a perspective of sustainable reuse of waste byproducts. *Constr. Build. Mater.* **2022**, *319*, 126061. [[CrossRef](#)]
10. European Commission. Waste Framework Directive (2008/98/EC)—European Environment Agency. Available online: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/waste-framework-directive-2008-98-ec> (accessed on 28 March 2023).
11. European Parliament. EUR-Lex-32002L0091-EN-EUR-Lex. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/TXT/?uri=CELEX%253A32002L0091> (accessed on 28 March 2023).
12. Parracha, J.L.; Santos, A.R.; Lazera, R.; Colen, F.I.; Gomes, M.G.; Rodrigues, A.M. Performance of lightweight thermal insulating mortars applied on brick substrate specimens and prototype wall. *Constr. Build. Mater.* **2023**, *364*, 129954. [[CrossRef](#)]
13. Francesco, T.; Andrea, P.; Giusy, S.; Sabino, D.G.; Michele, N. Environmental Sustainable Cement Mortars Based on Polyethylene Terephthalate from Recycling Operations. *Materials* **2023**, *16*, 2111.
14. Ronnakrit, K.; Ampol, W.; Jindarat, E.; Piti, S.; Vanchai, S.; Prinya, C. Performance of Geopolymer Mortar Containing PVC Plastic Waste from Bottle Labels at Normal and Elevated Temperatures. *Buildings* **2023**, *13*, 1031.
15. De Melo, A.B.; Silva, E.P. Bloques de hormigón ligero con áridos reciclados de EVA: Una contribución a la eficiencia térmica de paredes exteriores de edificios. *Mater. De Construcción* **2013**, *63*, 479–495. [[CrossRef](#)]
16. Yesilata, B.; Isker, Y.; Turgut, P. Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces. *Constr. Build. Mater.* **2009**, *23*, 1878–1882. [[CrossRef](#)]
17. García, E.; Mauricio, P.; Schwarz, A.; César, A.; Urbano, B.; Medina, C. Environmental evaluation of applications of concrete with recycled material from tyre. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*; Thomas Telford Ltd.: London, UK, 2022.
18. García, E.F.; Cabello, J.F.; Giro, M.M.; Navarro, S.V. Thermal behaviour of hollow blocks and bricks made of concrete doped with waste tyre rubber. *Constr. Build. Mater.* **2018**, *176*, 193–200. [[CrossRef](#)]
19. Dashti, P.; Ranjbar, S.; Ghafari, S.; Ramezani, A.; Nejad, F.M. RSM-based and environmental assessment of eco-friendly geopolymer mortars containing recycled waste tire constituents. *J. Clean. Prod.* **2023**, *428*, 139365. [[CrossRef](#)]

20. Letelier, V.; Bustamante, M.; Olave, B.; Martínez, C.; Ortega, M. Properties of mortars containing crumb rubber and glass powder. *Dev. Built Environ.* **2023**, *14*, 100131. [CrossRef]
21. Eskander, B.S.; Saleh, M.H.; Tawfik, E.M.; Bayoumi, A.T. Towards potential applications of cement-polymer composites based on recycled polystyrene foam wastes on construction fields: Impact of exposure to water ecologies. *Case Stud. Constr. Mater.* **2021**, *15*, e00664. [CrossRef]
22. Mebarkia, R.; Bouzeroura, M.; Chelouah, N. Study of the effect of cement kiln dust on the mechanical, thermal and durability properties of compressed earth blocks. *Constr. Build. Mater.* **2022**, *349*, 128707. [CrossRef]
23. Gencil, O.; Kazmi, S.M.S.; Munir, M.J.; Sutcu, M.; Erdogmus, E.; Yaras, A. Feasibility of using clay-free bricks manufactured from water treatment sludge, glass, and marble wastes: An exploratory study. *Constr. Build. Mater.* **2021**, *298*, 123843. [CrossRef]
24. Belhadj, B.; Bederina, M.; Montrelay, N.; Houessou, J.; Quéneudec, M. Effect of substitution of wood shavings by barley straws on the physico-mechanical properties of lightweight sand concrete. *Constr. Build. Mater.* **2014**, *66*, 247–258. [CrossRef]
25. Brás, A.; Antunes, A.; Préneron, L.A.; Ralegaonkar, R.; Shaw, A.; Riley, M.; Faria, P. Optimisation of bio-based building materials using image analysis method. *Constr. Build. Mater.* **2019**, *223*, 544–553. [CrossRef]
26. Moghadam, S.A.; Roshan, G.M.A.; Omidinasab, F. Utilization of agricultural wastes as fiber, binder and aggregates of geopolymer mortars: Application of Taguchi method for strength and durability optimization. *J. Build. Eng.* **2023**, *75*, 106906. [CrossRef]
27. Pilién, V.P.; Promentilla, B.A.M.; Leaña, L.J.; Oreta, C.W.A.; Ongpeng, C.M.J. Confinement of Concrete Using Banana Geotextile-Reinforced Geopolymer Mortar. *Sustainability* **2023**, *15*, 6037. [CrossRef]
28. Kamsuwan, T. The Mechanical Properties for Using Banana's Peel Ash as Aggregate in Geopolymer Mortar. *Lect. Notes Civ. Eng.* **2023**, *279*, 70–76.
29. Akinyemi, A.B.; Dai, C. Development of banana fibers and wood bottom ash modified cement mortars. *Constr. Build. Mater.* **2020**, *241*, 118041. [CrossRef]
30. Sathiparan, N.; Anburuvel, A.; Selvam, V.V. Utilization of agro-waste groundnut shell and its derivatives in sustainable construction and building materials—A review. *J. Build. Eng.* **2023**, *66*, 105866. [CrossRef]
31. Wang, Q.; Li, S.J.; Poon, S.C. Productive of sorptive granules from incinerated sewage sludge ash and upcycling in cement mortars. *Sep. Purif. Technol.* **2023**, *309*, 123046. [CrossRef]
32. Lakreb, N.; Sen, U.; Beddiar, A.; Zitoune, R.; Nobre, C.; Gomes, M.G.; Pereira, H. Properties of eco-friendly mortars produced by partial cement replacement with waste cork particles: A feasibility study. *Biomass Convers. Biorefinery* **2023**, *13*, 11997–12007. [CrossRef]
33. Boubakour, S.; Kherraf, L.; Hebhouh, H.; Messaoudi, K.; Boukhatem, G. Characterization of lightweight mortars with cork and olive stone waste for old building rehabilitation. *Ann. De Chim. Sci. Des Mater.* **2023**, *47*, 179–185. [CrossRef]
34. Malchiodi, B.; Marchetti, R.; Barbieri, L.; Pozzi, P. Recovery of cork manufacturing waste within mortar and polyurethane: Feasibility of Use and Physical, Mechanical, Thermal Insulating Properties of the Final Green Composite Construction Materials. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 3844. [CrossRef]
35. Olaiya, C.B.; Lawan, M.M.; Olonade, A.K. Utilization of sawdust composites in construction—a review. *Appl. Sci.* **2023**, *5*, 140. [CrossRef]
36. Bishetti, P.; Varadharajan, S.; Shukla, B.K.; Bharti, G. Study on suitability of sawdust as an alternate for fine aggregate in concrete. *Lect. Notes Civ. Eng.* **2023**, *281*, 209–217.
37. Barbuta, M.; Mihai, P.; Precul, A.M.N.; Bejan, L.; Taranu, N.; Banu, M.O. Concrete hollow blocks with waste materials replacing the natural aggregates. *Rev. Romana Mater.* **2022**, *52*, 83–89.
38. Gudia, S.E.L.; Go, A.W.; Giduquio, M.B.; Juanir, R.G.; Jamora, J.B.; Gunarto, C.; Tabañag, I.D.F. Sargarcane bagasse ash as a partial replacement for cement in paste and mortar formulation—A case in the Philippines. *J. Build. Eng.* **2023**, *76*, 107221. [CrossRef]
39. Madhanagopal, A.; Arunkumar, S.; Jagatheesan, K.; Adinarayanan, A. Investigation on mechanical and thermal properties of clay brick additions with sugarcane bagasse ash and nanoparticles. *Biomass Convers Biorefinery* **2023**. [CrossRef]
40. Hussien, N.T.; Oan, F.A. The use of sugarcane wastes in concrete. *J. Eng. Appl. Sci.* **2022**, *69*, 31. [CrossRef]
41. Prayuda, H.; Monika, F.; Passa, A.S.; Lubis, A.R.; Wibowo, E.D. Engineering properties of mortar with untreated agricultural waste ashes as cement replacement materials. *Innov. Infrastruct. Solut.* **2023**, *8*, 227. [CrossRef]
42. Khan, M.A.; Khan, A.S.; Khan, B.; Shahzada, K.; Althoey, F.; Deifalla, F.A. Investigating the feasibility of producing sustainable and compatible binder using marble waste, fly ash, and rice husk ash: A comprehensive research for material characteristics and production. *Results Eng.* **2023**, *20*, 101435. [CrossRef]
43. Barreca, F.; Fichera, C.R. Use of olive stone as an additive in cement lime mortar to improve thermal insulation. *Energy Build.* **2013**, *62*, 507–513. [CrossRef]
44. Ince, C.; Tayancli, S.; Derogar, S. Recycling waste wood in cement mortars towards the regeneration of sustainable environment. *Constr. Build. Mater.* **2021**, *299*, 123891. [CrossRef]
45. Conde, M.M.J.; Rubio-de-Hita, P.; Gálvez, P.F. Composite mortars produced with Wood waste from demolition: Assessment of new compounds with enhanced thermal properties. *J. Mater. Civ. Eng.* **2018**, *30*, 04017273. [CrossRef]
46. Pokorný, J.; Sevcik, R.; Sal, J.; Fiala, L.; Zarybnicka, L.; Podolka, L. Bio-based aggregate in the production of advanced thermal-insulating concrete with improved acoustic performance. *Constr. Build. Mater.* **2022**, *358*, 129436. [CrossRef]
47. Anuario. Available online: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2021/default.aspx> (accessed on 29 June 2023).

48. Abdelhamid, A.A.; Badr, H.M.; Mohamed, A.R.; Saleh, M.H. Using Agricultural Mixed Waste as a Sustainable Technique for Removing Stable Isotopes and Radioisotopes from the Aquatic Environment. *Sustainability* **2023**, *15*, 1600. [[CrossRef](#)]
49. Cabello, J.F.; Garcia, E.F.; Espinoza, A.P.; Martínez de Pison, F.J. Strength Performance of Different Mortar Doped Using Olive Stone as Lightweight Aggregate. *Buildings* **2022**, *12*, 1668. [[CrossRef](#)]
50. UNE-EN 933-1:2012. Available online: <https://www.en.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0049638> (accessed on 5 May 2023).
51. UNE 7 133. Available online: [https://books.google.es/books/about/UNE\\_7\\_133.html?id=P6VyswEACAAJ&hl=e](https://books.google.es/books/about/UNE_7_133.html?id=P6VyswEACAAJ&hl=e) (accessed on 26 June 2023).
52. UNE-EN 1744-1:2010. Available online: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0051093> (accessed on 26 June 2023).
53. UNE-EN 1097-6:2014. Available online: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0052839> (accessed on 26 June 2023).
54. UNE-EN 12350-2:2002. Available online: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0063378> (accessed on 6 November 2023).
55. UNE-EN 12939:2001. Available online: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0044070> (accessed on 29 March 2023).
56. Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. Código técnico de la Edificación (CTE). Available online: <https://www.codigotecnico.org/> (accessed on 29 March 2023).
57. Herramienta Unificada LIDER-CALENER. Available online: <https://www.codigotecnico.org/Programas/HerramientaUnificadaLIDERCALENER> (accessed on 28 March 2023).
58. Insitituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Escala de Calificación Energética. Edificios Existentes. Available online: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11261\\_EscalaCalifEnerg\\_EdifExistentes\\_2011\\_accesible\\_c762988d.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11261_EscalaCalifEnerg_EdifExistentes_2011_accesible_c762988d.pdf) (accessed on 28 March 2023).
59. Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. Digital Catalogue of Construction Elements. Available online: <https://www.codigotecnico.org/Programas/CatalogoElementosConstructivos.html> (accessed on 8 February 2023).
60. Spanish Institute for Energy Diversification and Savings. Lowe Calorific Values of Primary Energy Sources. Available online: [https://www.google.com/search?q=idae+poderes+calorificos&client=firefox-b-d&ei=VdojZIXxOvOikdUP-p2EqAY&gs\\_lcp=IDAE+poderes&gs\\_lcp=Cgxnd3Mtd2l6LXNlcnAQRgAMgUIABCA](https://www.google.com/search?q=idae+poderes+calorificos&client=firefox-b-d&ei=VdojZIXxOvOikdUP-p2EqAY&gs_lcp=IDAE+poderes&gs_lcp=Cgxnd3Mtd2l6LXNlcnAQRgAMgUIABCA) (accessed on 29 March 2023).

**Disclaimer/Publisher's Note:** The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



---

**ANEXO III – MODELOS DE  
ENVOLVENTE UTILIZADOS EN  
SIMULACIÓN ENERGÉTICA:  
DISTINTAS COMBINACIONES DE  
ZONAS CLIMÁTICAS**

Ubicación:	Albacete		
Normativa:	<b>CTE20</b>		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		<b>CTE2020</b>
Zona Climática:	D	Zona climática de invierno	D
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	3
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Albacete

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,65
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,274
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,410
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,650
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,28
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,305
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,350
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)		$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras		$U_{H,m}$	2,2
Color del Marco	Marrón Medio		$U_{H,v}$	1,4
Tipo de cristal	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03		$P_{100}$	9
% sup. marco	25,00%		$\alpha$	0,75
% sup. vidrio	75,00%		$g_{\perp}$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_H$ 2020:	1,76	Máxima U (W/m2-K)	1,8	CUMPLE
$U_H$ CTE2013:	1,60			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.59-U0.39</b>				
Superficie	388 m <sup>2</sup>	$B'$	7,92	
Perímetro	98 m			
Grosor Aislamiento:	9 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
$U_{s,1}$ Primer metro de la losa	0,594	Máxima U (W/m2-K)	0,6	CUMPLE
$U_{s1}$ Resto de la losa	0,354	Máxima U (W/m2-K)	0,6	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE11		$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>		$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>		$U_{ue}$	0,27 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{te}/A_{ue}$	0,494897959	$U_{ui}$	0,43 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>		$H_{ue}$	742,65
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>		$H_{ui}$	563,33
			<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**
**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	2,32
Coef.b reducción	0,57		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,246
			Máxima U (W/m2-K)	0,850
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,2</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior con zonas comunes

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

ParInt U=0,88

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
			U (W/m <sup>2</sup> K)	0,82
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
				CUMPLE



Ubicación:	Alicante		
Normativa:	<b>CTE20</b>		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		<b>CTE2020</b>
Zona Climática:	B	Zona climática de invierno	B
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	4
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

<b>Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida</b>
Alicante

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,31
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,432
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,560
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE03**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	3	0,0375		0,8
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,59
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,627
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,750
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,40**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375		1,6
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,48
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,404
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,440
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe2.05 4-12-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)		$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras		$U_{H,m}$	2.2
Color del Marco	Marrón Medio		$U_{H,v}$	2
Tipo de cristal	4-12-4 Vidrio Baja emisividad - $0,1 < e < 0$		$P_{100}$	27
% sup. marco	25,00%		$\alpha$	0,75
% sup. vidrio	75,00%		$g_{\perp}$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_H$ 2020:	2,26	Máxima U (W/m2-K)	2,3	CUMPLE
$U_H$ CTE2013:	2,05			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0,88-U0,42</b>			$B'$	7,92
Superficie	388	m <sup>2</sup>		
Perímetro	98	m		
Grosor Aislamiento:	5	cm		
Longitud del aislamiento (D)	1,5	m		
$U_{s,1}$ Primer metro de la losa	0,877		Máxima U (W/m2-K)	1
Us1 Resto de la losa	0,398		Máxima U (W/m2-K)	1

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE06		$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>		$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>		$U_{ue}$	0,43 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{te}/A_{ue}$	0,494897959	$U_{ui}$	0,66 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>		$H_{ue}$	866,54
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>		$H_{ui}$	651,78
			<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,44</b>				
Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	3	0,0375	0,8
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	1,52
Coef.b reducción	0,57		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,377
			Máxima U (W/m2-K)	1,100
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,44**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375		0,800
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,52
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,44</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,1
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,55
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,1
<b>CUMPLE</b>					

**Partición interior**

Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
					<b>CUMPLE</b>

Ubicación:	Almería		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	A	Zona climática de invierno	A
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	4
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Almería

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE05**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	5	0,0375		1,333333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,05
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,489
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,700
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE03**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	3	0,0375		0,8
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,59
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,627
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,800
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,45**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	5	0,0375		1,333333333
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,21
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,452
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,500
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe2.05 4-12-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2.2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	2
<b>Tipo de cristal</b>	4-12-4 Vidrio Baja emisividad - 0,1 < e < 0		<b>P<sub>100</sub></b>	27
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H 2020:</sub></b>	2,26	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	2,7	CUMPLE
<b>U<sub>H CTE2013:</sub></b>	2,05			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0,88-U0,42</b>			<b>B'</b>	7,92
<b>Superficie</b>	388	m <sup>2</sup>		
<b>Perímetro</b>	98	m		
<b>Grosor Aislamiento:</b>	5	cm		
Longitud del aislamiento (D)	1,5	m		
<b>U<sub>s1</sub> Primer metro de la losa</b>	0,877		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1,25
<b>U<sub>s1</sub> Resto de la losa</b>	0,398		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1,25

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE05		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,49 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	A <sub>te</sub> /A <sub>ue</sub> 0,494897959		<b>U<sub>ui</sub></b>	0,66 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	910,68
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	651,78
			<b>b</b>	0,58

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,44</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor</b> cm	<b>λ</b> W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	3	0,0375	0,8
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	1,52
<b>Coef.b reducción</b>	0,58		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,385
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1,250
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,44**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375		0,800	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,52	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,44
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,25	
<b>CUMPLE</b>						

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,77
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,8
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,48
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,25	
<b>CUMPLE</b>						

**Partición interior**

Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,4
					<b>CUMPLE</b>



Ubicación:	Badajoz		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	C	Zona climática de invierno	C
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	4
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

<b>Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida</b>
Badajoz

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE08**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	8	0,0375		2,133333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,85
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,351
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,490
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE04**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	4	0,0375		1,066666667
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,86
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,538
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,700
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,36**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	7	0,0375		1,866666667
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,74
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,364
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,400
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.82 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,8
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - 0,1 < e < 0		<b>P<sub>100</sub></b>	9
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H 2020:</sub></b>	2,09	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	2,1	CUMPLE
<b>U<sub>H CTE2013:</sub></b>	1,90			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.70-U0.40</b>				
<b>Superficie</b>	388	m <sup>2</sup>	<b>B'</b>	7,92
<b>Perímetro</b>	98	m		
<b>Grosor Aislamiento:</b>	7	cm		
Longitud del aislamiento (D)	1,5	m		
<b>U<sub>s1</sub> Primer metro de la losa</b>	0,704		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75
<b>U<sub>s1</sub> Resto de la losa</b>	0,369		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE08		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,35 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	A <sub>te</sub> /A <sub>ue</sub> 0,494897959		<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	803,06
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
			<b>b</b>	0,59

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor</b> cm	<b>λ</b> W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,59		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,254
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,950
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,35</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

**Partición interior**

Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
					CUMPLE



Ubicación:	Barcelona		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	C	Zona climática de invierno	C
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	2
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Barcelona

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE08**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	8	0,0375		2,133333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,85
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,351
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,490

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE04**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	4	0,0375		1,066666667
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,86
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,538
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,700

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,36**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	7	0,0375		1,866666667
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,74
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,364
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,400

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.82 4-20-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)		$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras		$U_{H,m}$	2,2
Color del Marco	Marrón Medio		$U_{H,v}$	1,8
Tipo de cristal	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - $0,1 < e < 0$		$P_{100}$	9
% sup. marco	25,00%		$\alpha$	0,75
% sup. vidrio	75,00%		$g_{\perp}$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_H$ 2020:	2,09	Máxima U (W/m2-K)	2,1	CUMPLE
$U_H$ CTE2013:	1,90			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.70-U0.40</b>				
Superficie	388	m <sup>2</sup>	$B'$	7,92
Perímetro	98	m		
Grosor Aislamiento:	7	cm		
Longitud del aislamiento (D)	1,5	m		
$U_{s,1}$ Primer metro de la losa	0,704	Máxima U (W/m2-K)	0,75	CUMPLE
Us1 Resto de la losa	0,369	Máxima U (W/m2-K)	0,75	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE08		$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>		$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>		$U_{ue}$	0,35 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{te}/A_{ue}$	0,494897959	$U_{ui}$	0,43 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>		$H_{ue}$	803,06
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>		$H_{ui}$	563,33
			$b$	0,59

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	2,32
Coef.b reducción	0,59		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,254
			Máxima U (W/m2-K)	0,950
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,35</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,82</b>
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,2
				CUMPLE

Ubicación:	Bilbao		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	C	Zona climática de invierno	C
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	1
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Bilbao, La Coruña, Pontevedra

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE08**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	8	0,0375		2,133333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,85
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,351
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,490
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE04**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	4	0,0375		1,066666667
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,86
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,538
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,700
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,36**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	7	0,0375		1,866666667
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,74
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,364
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,400
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.82 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,8
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - 0,1 < e < 0		<b>P<sub>100</sub></b>	9
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H 2020:</sub></b>	2,09	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	2,1	CUMPLE
<b>U<sub>H CTE2013:</sub></b>	1,90			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.70-U0.40</b>			<b>B'</b>	7,92
<b>Superficie</b>	388	m <sup>2</sup>		
<b>Perímetro</b>	98	m		
<b>Grosor Aislamiento:</b>	7	cm		
Longitud del aislamiento (D)	1,5	m		
<b>U<sub>s1</sub> Primer metro de la losa</b>	0,704		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75
<b>U<sub>s1</sub> Resto de la losa</b>	0,369		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE08		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,35 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	A <sub>te</sub> /A <sub>ue</sub> 0,494897959		<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	803,06
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
			<b>b</b>	0,59

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor</b> cm	<b>λ</b> W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,59		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,254
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,950
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,35</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
					CUMPLE

Ubicación:	Córdoba		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	B	Zona climática de invierno	B
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	4
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

<b>Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida</b>
Córdoba

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>¶total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,31
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,432
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,560

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE03**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	3	0,0375		0,8
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,59
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,627
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,750

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,40**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,48
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,404
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,440

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe2.05 4-12-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)		$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras		$U_{H,m}$	2.2
Color del Marco	Marrón Medio		$U_{H,v}$	2
Tipo de cristal	4-12-4 Vidrio Baja emisividad - $0,1 < e < 0$		$P_{100}$	27
% sup. marco	25,00%		$\alpha$	0,75 <b>CUMPLE</b>
% sup. vidrio	75,00%		$g_{\perp}$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_H$ 2020:	2,26	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	2,3	<b>CUMPLE</b>
$U_H$ CTE2013:	2,05			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0,88-U0,42</b>				
Superficie	388 m <sup>2</sup>	$B'$	7,92	
Perímetro	98 m			
Grosor Aislamiento:	5 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
$U_{s,1}$ Primer metro de la losa	0,877	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	1	<b>CUMPLE</b>
$U_{s1}$ Resto de la losa	0,398	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	1	<b>CUMPLE</b>

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE06		$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>		$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>		$U_{ue}$	0,43 W/m <sup>2</sup> -K
Relación entre superficies	$A_{te}/A_{ue}$	0,494897959	$U_{ui}$	0,66 W/m <sup>2</sup> -K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>		$H_{ue}$	866,54
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>		$H_{ui}$	651,78
			<b>b</b>	<b>0,57</b>

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,44</b>				
Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	3	0,0375	0,8
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	1,52
Coef.b reducción	0,57		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,377
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	1,100
				<b>CUMPLE</b>

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,44**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375		0,800
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,52
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,44</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,1
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,55
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,1
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
					CUMPLE

Ubicación:	Cuenca		
Normativa:	<b>CTE20</b>		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		<b>CTE2020</b>
Zona Climática:	D	Zona climática de invierno	D
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	2
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Cuenca, Segovia, Teruel

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	3,65
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,274
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,410

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,39
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,418
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,650

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	3,28
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,305
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,350

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,4
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03		<b>P<sub>100</sub></b>	9
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H 2020:</sub></b>	1,76	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1,8	CUMPLE
<b>U<sub>H CTE2013:</sub></b>	1,60			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.59-U0.39</b>				
<b>Superficie</b>	388 m <sup>2</sup>	<b>B'</b>	7,92	
<b>Perímetro</b>	98 m			
<b>Grosor Aislamiento:</b>	9 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
<b>U<sub>s1</sub> Primer metro de la losa</b>	0,594	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE
<b>U<sub>s1</sub> Resto de la losa</b>	0,354	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE11		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,27 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	A <sub>te</sub> /A <sub>ue</sub> 0,494897959		<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	742,65
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
			<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor cm</b>	<b>λ W/mk</b>	<b>R m<sup>2</sup>K/W</b>
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,57		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,246
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,850
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53** Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,2</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
			U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
				CUMPLE

Ubicación:	Granada		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	C	Zona climática de invierno	C
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	3
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Granada

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE08**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	8	0,0375		2,133333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,85
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,351
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,490

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE04**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	4	0,0375		1,066666667
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,86
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,538
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,700

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,36**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	7	0,0375		1,866666667
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,74
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,364
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,400

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.82 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,8
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - 0,1 < e < 0		<b>P<sub>100</sub></b>	9
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H 2020:</sub></b>	2,09	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	2,1	CUMPLE
<b>U<sub>H CTE2013:</sub></b>	1,90			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.70-U0.40</b>				
<b>Superficie</b>	388 m <sup>2</sup>	<b>B'</b>	7,92	
<b>Perímetro</b>	98 m			
<b>Grosor Aislamiento:</b>	7 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
<b>U<sub>s1</sub> Primer metro de la losa</b>	0,704	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75	CUMPLE
<b>Us1 Resto de la losa</b>	0,369	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE08		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,35 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	<b>A<sub>te</sub>/A<sub>ue</sub></b>	0,494897959	<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	803,06
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
			<b>b</b>	0,59

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor</b> cm	<b>λ</b> W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,59		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,254
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,950
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,35</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

**Partición interior**

Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
					CUMPLE



Ubicación:	Huelva		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	A	Zona climática de invierno	A
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	4
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

<b>Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida</b>
Huelva

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Ettotal puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE05**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	5	0,0375		1,333333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,05
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,489
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,700
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE03**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	3	0,0375		0,8
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,59
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,627
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,800
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,45**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	5	0,0375		1,333333333
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,21
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,452
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,500
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe2.05 4-12-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)		$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras		$U_{H,m}$	2.2
Color del Marco	Marrón Medio		$U_{H,v}$	2
Tipo de cristal	4-12-4 Vidrio Baja emisividad - $0,1 < e < 0$		$P_{100}$	27
% sup. marco	25,00%		$\alpha$	0,75 <b>CUMPLE</b>
% sup. vidrio	75,00%		$g_{\perp}$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_H$ 2020:	2,26	Máxima U (W/m2-K)	2,7	<b>CUMPLE</b>
$U_H$ CTE2013:	2,05			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0,88-U0,42</b>				
Superficie	388 m <sup>2</sup>	$B'$	7,92	
Perímetro	98 m			
Grosor Aislamiento:	5 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
$U_{s,1}$ Primer metro de la losa	0,877	Máxima U (W/m2-K)	1,25	<b>CUMPLE</b>
$U_{s1}$ Resto de la losa	0,398	Máxima U (W/m2-K)	1,25	<b>CUMPLE</b>

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE05		$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>		$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>		$U_{ue}$	0,49 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{te}/A_{ue}$	0,494897959	$U_{ui}$	0,66 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>		$H_{ue}$	910,68
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>		$H_{ui}$	651,78
			<b>b</b>	<b>0,58</b>

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,44</b>				
Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	3	0,0375	0,8
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	1,52
Coef.b reducción	0,58		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,385
			Máxima U (W/m2-K)	1,250
				<b>CUMPLE</b>

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,44**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375		0,800	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,52	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,44
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,25	
<b>CUMPLE</b>						

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,77
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,8
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,48
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,25	
<b>CUMPLE</b>						

**Partición interior**

Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,4
					CUMPLE

Ubicación:	Jaén		
Normativa:	<b>CTE20</b>		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		<b>CTE2020</b>
Zona Climática:	C	Zona climática de invierno	C
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	4
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Jaén

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE08**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	8	0,0375		2,133333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,85
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,351
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,490
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE04**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	4	0,0375		1,066666667
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,86
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,538
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,700
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,36**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	7	0,0375		1,866666667
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,74
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,364
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,400
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.82 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,8
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - 0,1 < e < 0		<b>P<sub>100</sub></b>	9
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H 2020:</sub></b>	2,09	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	2,1	CUMPLE
<b>U<sub>H CTE2013:</sub></b>	1,90			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.70-U0.40</b>			<b>B'</b>	7,92
<b>Superficie</b>	388	m <sup>2</sup>		
<b>Perímetro</b>	98	m		
<b>Grosor Aislamiento:</b>	7	cm		
Longitud del aislamiento (D)	1,5	m		
<b>U<sub>s1</sub> Primer metro de la losa</b>	0,704		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75
<b>U<sub>s1</sub> Resto de la losa</b>	0,369		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE08		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,35 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	A <sub>te</sub> /A <sub>ue</sub> 0,494897959		<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	803,06
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
			<b>b</b>	0,59

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor</b> cm	<b>λ</b> W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,59		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,254
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,950
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,35</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,2
					CUMPLE

Ubicación:	Palmas de Gran Canaria	
Normativa:	CTE20	
Tipo edificio:	Residenciales	
Tipo de intervención:	Nuevos	
Zona Climática:	α	Zona climática de invierno
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>	
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>	
Carga Interna	Baja	

**CTE2020**

<b>Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida</b>
Las Palmas de Gran Canaria, Santa Cruz de Tenerife

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE04**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	4	0,0375		1,066666667
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,78
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,562
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,800

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE02**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,33
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,754
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,900

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,45**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	5	0,0375		1,333333333
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,21
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,452
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,550

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe2.05 4-12-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)		$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras		$U_{H,m}$	2.2
Color del Marco	Marrón Medio		$U_{H,v}$	2
Tipo de cristal	4-12-4 Vidrio Baja emisividad - 0,1 < e < 0		$P_{100}$	27
% sup. marco	25,00%		$\alpha$	0,75 <b>CUMPLE</b>
% sup. vidrio	75,00%		$g_{\perp}$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_H$ 2020:	2,26	Máxima U (W/m2-K)	3,2	<b>CUMPLE</b>
$U_H$ CTE2013:	2,05			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U1,17-U0,45</b>				
Superficie	388 m <sup>2</sup>	$B'$	7,92	
Perímetro	98 m			
Grosor Aislamiento:	3 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
$U_{s,1}$ Primer metro de la losa	1,170	Máxima U (W/m2-K)	1,35	<b>CUMPLE</b>
$U_{s1}$ Resto de la losa	0,444	Máxima U (W/m2-K)	1,35	<b>CUMPLE</b>

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE04		$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>		$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>		$U_{ue}$	0,56 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{te}/A_{ue}$	0,494897959	$U_{ui}$	0,66 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>		$H_{ue}$	968,05
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>		$H_{ui}$	651,78
			<b>b</b>	<b>0,60</b>

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,44</b>				
Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	3	0,0375	0,8
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	1,52
Coef.b reducción	0,60		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,394
			Máxima U (W/m2-K)	1,350
				<b>CUMPLE</b>

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,44**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375		0,800
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,52
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,44
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,35
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,77
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,9
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,48
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,35
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,4
					CUMPLE



Ubicación:	Lérida		
Normativa:	<b>CTE20</b>		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		<b>CTE2020</b>
Zona Climática:	D	Zona climática de invierno	D
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	3
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Lérida

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>¶total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,65
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,274
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,410
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,650
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,28
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,305
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,350
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>					
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)			$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras			$U_{H,m}$	2,2
Color del Marco	Marrón Medio			$U_{H,v}$	1,4
Tipo de cristal	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03			$P_{100}$	9
% sup. marco	25,00%			$\alpha$	0,75
% sup. vidrio	75,00%			$g_{\perp}$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%				
$U_H$ 2020:	1,76	Máxima U (W/m2-K)	1,8		CUMPLE
$U_H$ CTE2013:	1,60				
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%		

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.59-U0.39</b>					
Superficie	388 m <sup>2</sup>	$B'$	7,92		
Perímetro	98 m				
Grosor Aislamiento:	9 cm				
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m				
$U_{s,1}$ Primer metro de la losa	0,594	Máxima U (W/m2-K)	0,6		CUMPLE
$U_{s1}$ Resto de la losa	0,354	Máxima U (W/m2-K)	0,6		CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE11			$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>			$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>			$U_{ue}$	0,27 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{te}/A_{ue}$ 0,494897959			$U_{ui}$	0,43 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>			$H_{ue}$	742,65
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>			$H_{ui}$	563,33
				$b$	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>					
Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375		1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	2,32
Coef.b reducción	0,57			$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,246
				Máxima U (W/m2-K)	0,850
					CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,29
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,85	
<b>CUMPLE</b>						

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,77
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,2
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,48
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,85	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
					CUMPLE

Ubicación:	Logroño		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	D	Zona climática de invierno	D
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	2
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Logroño

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,65
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,274
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,410
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,650
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,28
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,305
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,350
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,4
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03		<b>P<sub>100</sub></b>	9
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H 2020:</sub></b>	1,76	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1,8	CUMPLE
<b>U<sub>H CTE2013:</sub></b>	1,60			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.59-U0.39</b>				
<b>Superficie</b>	388 m <sup>2</sup>	<b>B'</b>	7,92	
<b>Perímetro</b>	98 m			
<b>Grosor Aislamiento:</b>	9 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
<b>U<sub>s1</sub> Primer metro de la losa</b>	0,594	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE
<b>U<sub>s1</sub> Resto de la losa</b>	0,354	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE11		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,27 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	<b>A<sub>te</sub>/A<sub>ue</sub></b>	0,494897959	<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	742,65
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
			<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor</b> cm	<b>λ</b> W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,57		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,246
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,850
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,29
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,85	
<b>CUMPLE</b>						

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53** Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,77
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,2	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,48
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,85	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
			U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
				CUMPLE



Ubicación:	Lugo		
Normativa:	<b>CTE20</b>		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		<b>CTE2020</b>
Zona Climática:	D	Zona climática de invierno	D
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	1
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Lugo

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,65
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,274
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,410

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,650

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,28
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,305
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,350

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)		$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras		$U_{H,m}$	2,2
Color del Marco	Marrón Medio		$U_{H,v}$	1,4
Tipo de cristal	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03		$P_{100}$	9
% sup. marco	25,00%		$\alpha$	0,75
% sup. vidrio	75,00%		$g_l$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_H$ 2020:	1,76	Máxima U (W/m2-K)	1,8	CUMPLE
$U_H$ CTE2013:	1,60			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.59-U0.39</b>				
Superficie	388 m <sup>2</sup>	$B'$	7,92	
Perímetro	98 m			
Grosor Aislamiento:	9 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
$U_{s1}$ Primer metro de la losa	0,594	Máxima U (W/m2-K)	0,6	CUMPLE
$U_{s1}$ Resto de la losa	0,354	Máxima U (W/m2-K)	0,6	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE11		$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>		$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>		$U_{ue}$	0,27 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{te}/A_{ue}$	0,494897959	$U_{ui}$	0,43 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>		$H_{ue}$	742,65
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>		$H_{ui}$	563,33
			<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	2,32
Coef.b reducción	0,57		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,246
			Máxima U (W/m2-K)	0,850
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53** Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,2</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,2
					CUMPLE

Ubicación:	Madrid		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	D	Zona climática de invierno	D
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	3
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Madrid, Ciudad Real, Guadalajara

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,65
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,274
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,410

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,650

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,28
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,305
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,350

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)		$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras		$U_{H,m}$	2,2
Color del Marco	Marrón Medio		$U_{H,v}$	1,4
Tipo de cristal	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03		$P_{100}$	9
% sup. marco	25,00%		$\alpha$	0,75
% sup. vidrio	75,00%		$g_{\perp}$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_H$ 2020:	1,76	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	1,8	CUMPLE
$U_H$ CTE2013:	1,60			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.59-U0.39</b>				
Superficie	388 m <sup>2</sup>	$B'$	7,92	
Perímetro	98 m			
Grosor Aislamiento:	9 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
$U_{s,1}$ Primer metro de la losa	0,594	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	0,6	CUMPLE
$U_{s1}$ Resto de la losa	0,354	Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	0,6	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE11		$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>		$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>		$U_{ue}$	0,27 W/m <sup>2</sup> -K
Relación entre superficies	$A_{te}/A_{ue}$	0,494897959	$U_{ui}$	0,43 W/m <sup>2</sup> -K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>		$H_{ue}$	742,65
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>		$H_{ui}$	563,33
			$b$	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	2,32
Coef.b reducción	0,57		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,246
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	0,850
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53** Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,2</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
					CUMPLE

Ubicación:	Málaga		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	A	Zona climática de invierno	A
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	3
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Málaga, Cádiz, Melilla

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE05**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	5	0,0375		1,333333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,05
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,489
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,700

**CUMPLE**
**Cerramiento medianera:**
**SATE03**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	3	0,0375		0,8
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,59
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,627
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,800

**CUMPLE**
**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,45**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	5	0,0375		1,333333333
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,21
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,452
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,500

**CUMPLE**

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe2.05 4-12-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)		$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras		$U_{H,m}$	2.2
Color del Marco	Marrón Medio		$U_{H,v}$	2
Tipo de cristal	4-12-4 Vidrio Baja emisividad - $0,1 < e < 0$		$P_{100}$	27
% sup. marco	25,00%		$\alpha$	0,75 <b>CUMPLE</b>
% sup. vidrio	75,00%		$g_l$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_H$ 2020:	2,26	Máxima U (W/m2-K)	2,7	<b>CUMPLE</b>
$U_H$ CTE2013:	2,05			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0,88-U0,42</b>				
Superficie	388 m <sup>2</sup>	$B'$	7,92	
Perímetro	98 m			
Grosor Aislamiento:	5 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
$U_{s,1}$ Primer metro de la losa	0,877	Máxima U (W/m2-K)	1,25	<b>CUMPLE</b>
$U_{s1}$ Resto de la losa	0,398	Máxima U (W/m2-K)	1,25	<b>CUMPLE</b>

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE05		$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>		$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>		$U_{ue}$	0,49 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{te}/A_{ue}$	0,494897959	$U_{ui}$	0,66 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>		$H_{ue}$	910,68
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>		$H_{ui}$	651,78
			<b>b</b>	<b>0,58</b>

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,44</b>				
Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	3	0,0375	0,8
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	1,52
Coef.b reducción	0,58		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,385
			Máxima U (W/m2-K)	1,250
				<b>CUMPLE</b>

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,44**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375		0,800	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,52	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,44
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,25	
<b>CUMPLE</b>						

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,77
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,8
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,48
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,25	
<b>CUMPLE</b>						

**Partición interior**

Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
			U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,4
				CUMPLE



Ubicación:	Orense		
Normativa:	<b>CTE20</b>		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		<b>CTE2020</b>
Zona Climática:	D	Zona climática de invierno	D
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	2
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>		
Carga Interna	Baja		

<b>Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida</b>
Gerona, Orense

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,65
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,274
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,410
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,650
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,28
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,305
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,350
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,4
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03		<b>P<sub>100</sub></b>	9
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H 2020:</sub></b>	1,76	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1,8	CUMPLE
<b>U<sub>H CTE2013:</sub></b>	1,60			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.59-U0.39</b>				
<b>Superficie</b>	388 m <sup>2</sup>	<b>B'</b>	7,92	
<b>Perímetro</b>	98 m			
<b>Grosor Aislamiento:</b>	9 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
U <sub>s1</sub> Primer metro de la losa	0,594	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE
Us1 Resto de la losa	0,354	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE11		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,27 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	A <sub>te</sub> /A <sub>ue</sub> 0,494897959		<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	742,65
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
			<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor</b> cm	<b>λ</b> W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,57		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,246
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,850
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53** Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,2</b>	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>	
<b>CUMPLE</b>						

**Partición interior**

Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
					CUMPLE

Ubicación:	Oviedo	
Normativa:	<b>CTE20</b>	
Tipo edificio:	Residenciales	
Tipo de intervención:	Nuevos	<b>CTE2020</b>
Zona Climática:	D	Zona climática de invierno
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>	
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>	
Carga Interna	Baja	

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Oviedo

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Ettotal puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,65
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,274
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,410

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,650

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,28
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,305
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,350

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,4
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03		<b>P<sub>100</sub></b>	9
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H 2020:</sub></b>	1,76	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1,8	CUMPLE
<b>U<sub>H CTE2013:</sub></b>	1,60			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.59-U0.39</b>				
<b>Superficie</b>	388 m <sup>2</sup>	<b>B'</b>	7,92	
<b>Perímetro</b>	98 m			
<b>Grosor Aislamiento:</b>	9 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
<b>U<sub>s1</sub> Primer metro de la losa</b>	0,594	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE
<b>U<sub>s1</sub> Resto de la losa</b>	0,354	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE11		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,27 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	<b>A<sub>te</sub>/A<sub>ue</sub></b>	0,494897959	<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	742,65
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
			<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**
**F-Cub 0,28**

<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor</b> cm	<b>λ</b> W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,57		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,246
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,850
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,2</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
			U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,82</b>
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,2
				CUMPLE

Ubicación:	Salamanca		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	D	Zona climática de invierno	D
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	2
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Salamanca

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,65
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,274
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,410
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,650
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,28
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,305
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,350
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,4
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03		<b>P<sub>100</sub></b>	9
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H</sub> 2020:</b>	1,76	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1,8	CUMPLE
<b>U<sub>H</sub> CTE2013:</b>	1,60			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.59-U0.39</b>				
<b>Superficie</b>	388 m <sup>2</sup>	<b>B'</b>	7,92	
<b>Perímetro</b>	98 m			
<b>Grosor Aislamiento:</b>	9 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
U <sub>s1</sub> Primer metro de la losa	0,594	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE
Us1 Resto de la losa	0,354	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE11		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,27 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	A <sub>te</sub> /A <sub>ue</sub> 0,494897959		<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	742,65
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
			<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor cm</b>	<b>λ W/mk</b>	<b>R m<sup>2</sup>K/W</b>
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,57		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,246
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,850
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,2</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
			U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
				CUMPLE



Ubicación:	San Sebastián		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	D	Zona climática de invierno	D
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	1
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

<b>Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida</b>
San Sebastián

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,65
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,274
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,410

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,650

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,28
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,305
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,350

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>					
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)	<b>U<sub>H,p</sub></b>	1		
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras	<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2		
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio	<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,4		
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03	<b>P<sub>100</sub></b>	9	9	
% sup. marco	25,00%	<b>α</b>	0,75		CUMPLE
% sup. vidrio	75,00%	<b>g<sub>l</sub></b>	0,75		
% sup. cajón de persiana	0,00%				
<b>U<sub>H 2020:</sub></b>	1,76	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1,8		CUMPLE
<b>U<sub>H CTE2013:</sub></b>	1,60				
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%		

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.59-U0.39</b>				<b>B'</b>	7,92
<b>Superficie</b>	388	m <sup>2</sup>			
<b>Perímetro</b>	98	m			
<b>Grosor Aislamiento:</b>	9	cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5	m			
<b>U<sub>s1</sub> Primer metro de la losa</b>	0,594		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE
<b>U<sub>s1</sub> Resto de la losa</b>	0,354		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE11	<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>	<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>	<b>U<sub>ue</sub></b>	0,27 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	A <sub>te</sub> /A <sub>ue</sub> 0,494897959	<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>	<b>H<sub>ue</sub></b>	742,65
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>	<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
		<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor</b> cm	<b>λ</b> W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,57		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,246
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,850
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,29
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,85	
<b>CUMPLE</b>						

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53** Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,77
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,2	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,48
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,85	
<b>CUMPLE</b>						

**Partición interior**

Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
					CUMPLE



Ubicación:	Santander		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	C	Zona climática de invierno	C
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	1
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Santander

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE08**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	8	0,0375		2,133333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,85
				U (W/m <sup>2</sup> -K)	0,351
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	0,490

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE04**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	4	0,0375		1,066666667
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,86
				U (W/m <sup>2</sup> -K)	0,538
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	0,700

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,36**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	7	0,0375		1,866666667
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,74
				U (W/m <sup>2</sup> -K)	0,364
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> -K)	0,400

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.82 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,8
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - 0,1 < e < 0		<b>P<sub>100</sub></b>	9
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H</sub> 2020:</b>	2,09	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	2,1	CUMPLE
<b>U<sub>H</sub> CTE2013:</b>	1,90			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.70-U0.40</b>				
<b>Superficie</b>	388	m <sup>2</sup>	<b>B'</b>	7,92
<b>Perímetro</b>	98	m		
<b>Grosor Aislamiento:</b>	7	cm		
Longitud del aislamiento (D)	1,5	m		
U <sub>s1</sub> Primer metro de la losa	0,704		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75
Us1 Resto de la losa	0,369		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE08			<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>			<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>			<b>U<sub>ue</sub></b>	0,35 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	A <sub>te</sub> /A <sub>ue</sub>	0,494897959		<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>			<b>H<sub>ue</sub></b>	803,06
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>			<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
				<b>b</b>	0,59

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor</b> cm	<b>λ</b> W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,59		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,254
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,950
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,35</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
					CUMPLE



Ubicación:	Sevilla		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	B	Zona climática de invierno	B
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	4
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

<b>Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida</b>
Sevilla

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,31
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,432
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,560

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE03**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375		0,8
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,59
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,627
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,750

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,40**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,6
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,48
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,404
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,440

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe2.05 4-12-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2.2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	2
<b>Tipo de cristal</b>	4-12-4 Vidrio Baja emisividad - 0,1 < e < 0		<b>P<sub>100</sub></b>	27
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H</sub> 2020:</b>	2,26	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	2,3	CUMPLE
<b>U<sub>H</sub> CTE2013:</b>	2,05			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0,88-U0,42</b>			<b>B'</b>	7,92
<b>Superficie</b>	388	m <sup>2</sup>		
<b>Perímetro</b>	98	m		
<b>Grosor Aislamiento:</b>	5	cm		
Longitud del aislamiento (D)	1,5	m		
<b>U<sub>s,1</sub> Primer metro de la losa</b>	0,877		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1
<b>U<sub>s1</sub> Resto de la losa</b>	0,398		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE06		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	A <sub>te</sub> /A <sub>ue</sub> 0,494897959		<b>U<sub>ui</sub></b>	0,66 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	866,54
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	651,78
			<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,44</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor</b> cm	<b>λ</b> W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	3	0,0375	0,8
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	1,52
<b>Coef.b reducción</b>	0,57		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,377
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1,100
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,44**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375		0,800
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,52
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,44</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,1
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,55
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,1
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

		<b>ParInt U=0,88</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>		<b>espesor</b> cm	$\lambda$ W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior		1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300		2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]		4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]		2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]		4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300		2	0,57	0,035087719	
			0			
			0			
			0			
			0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior		1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22	
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>	
				<b>Máxima U (W/m<sup>2</sup>K)</b>	1,2	
						<b>CUMPLE</b>

Ubicación:	Soria	
Normativa:	<b>CTE20</b>	
Tipo edificio:	Residenciales	
Tipo de intervención:	Nuevos	<b>CTE2020</b>
Zona Climática:	E	Zona climática de invierno
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>	
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>	
Carga Interna	Baja	

<b>Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida</b>
Soria, Ávila, Burgos, León

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE12**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	12	0,0375		3,2
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,91
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,256
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,370
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,590
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	10	0,0375		2,666666667
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,54
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,282
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,330
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)		$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras		$U_{H,m}$	2,2
Color del Marco	Marrón Medio		$U_{H,v}$	1,4
Tipo de cristal	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03		$P_{100}$	9
% sup. marco	25,00%		$\alpha$	0,75
% sup. vidrio	75,00%		$g_{\perp}$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_H$ 2020:	1,76	Máxima U (W/m2-K)	1,8	CUMPLE
$U_H$ CTE2013:	1,60			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0,57-U0,35</b>				
Superficie	388 m <sup>2</sup>	$B'$	7,92	
Perímetro	98 m			
Grosor Aislamiento:	10 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
$U_{s,1}$ Primer metro de la losa	0,550	Máxima U (W/m2-K)	0,55	CUMPLE
$U_{s1}$ Resto de la losa	0,352	Máxima U (W/m2-K)	0,55	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE12	$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>	$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>	$U_{ue}$	0,26 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{te}/A_{ue}$ 0,494897959	$U_{ui}$	0,43 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>	$H_{ue}$	728,00
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>	$H_{ui}$	563,33
		<b>b</b>	0,56

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**
**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	2,32
Coef.b reducción	0,56		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,243
			Máxima U (W/m2-K)	0,700
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,29
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,7	
<b>CUMPLE</b>						

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,77
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,48
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,7	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1
					<b>CUMPLE</b>

Ubicación:	Toledo	
Normativa:	<b>CTE20</b>	
Tipo edificio:	Residenciales	
Tipo de intervención:	Nuevos	<b>CTE2020</b>
Zona Climática:	C	Zona climática de invierno
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>	
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>	
Carga Interna	Baja	

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Toledo, Cáceres

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE08**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	8	0,0375		2,133333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,85
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,351
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,490
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE04**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	4	0,0375		1,066666667
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,86
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,538
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,700
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,36**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	7	0,0375		1,866666667
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,74
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,364
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,400
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.82 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,8
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - 0,1 < e < 0		<b>P<sub>100</sub></b>	9
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H 2020:</sub></b>	2,09	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	2,1	CUMPLE
<b>U<sub>H CTE2013:</sub></b>	1,90			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.70-U0.40</b>				
<b>Superficie</b>	388	m <sup>2</sup>	<b>B'</b>	7,92
<b>Perímetro</b>	98	m		
<b>Grosor Aislamiento:</b>	7	cm		
Longitud del aislamiento (D)	1,5	m		
<b>U<sub>s1</sub> Primer metro de la losa</b>	0,704		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75
<b>U<sub>s1</sub> Resto de la losa</b>	0,369		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,75

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE08		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,35 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	A <sub>te</sub> /A <sub>ue</sub> 0,494897959		<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	803,06
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
			<b>b</b>	0,59

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor</b> cm	<b>λ</b> W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,59		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,254
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,950
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,35</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,95</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
					CUMPLE



Ubicación:	Valencia		
Normativa:	<b>CTE20</b>		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		<b>CTE2020</b>
Zona Climática:	B	Zona climática de invierno	B
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	3
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>		
Carga Interna	Baja		

<b>Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida</b>
Valencia, Castellón, Ceuta, Murcia, Palma de Mallorca, Tarragona

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,31
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,432
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,560

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE03**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	3	0,0375		0,8
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,59
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,627
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,750

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,40**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,48
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,404
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,440

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe2.05 4-12-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)		$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras		$U_{H,m}$	2.2
Color del Marco	Marrón Medio		$U_{H,v}$	2
Tipo de cristal	4-12-4 Vidrio Baja emisividad - $0,1 < e < 0$		$P_{100}$	27
% sup. marco	25,00%		$\alpha$	0,75
% sup. vidrio	75,00%		$g_l$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_H$ 2020:	2,26	Máxima U (W/m2-K)	2,3	CUMPLE
$U_H$ CTE2013:	2,05			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0,88-U0,42</b>				
Superficie	388	m <sup>2</sup>	$B'$	7,92
Perímetro	98	m		
Grosor Aislamiento:	5	cm		
Longitud del aislamiento (D)	1,5	m		
$U_{s,1}$ Primer metro de la losa	0,877		Máxima U (W/m2-K)	1
Us1 Resto de la losa	0,398		Máxima U (W/m2-K)	1

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE06		$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>		$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>		$U_{ue}$	0,43 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{te}/A_{ue}$	0,494897959	$U_{ui}$	0,66 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>		$H_{ue}$	866,54
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>		$H_{ui}$	651,78
			<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,44</b>				
Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	3	0,0375	0,8
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	1,52
Coef.b reducción	0,57		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,377
			Máxima U (W/m2-K)	1,100
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,44**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	3	0,0375		0,800
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,52
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,44</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,1
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,55
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes

Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,1
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13
			Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
			U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
			Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
				CUMPLE

Ubicación:	Valladolid	
Normativa:	<b>CTE20</b>	
Tipo edificio:	Residenciales	
Tipo de intervención:	Nuevos	<b>CTE2020</b>
Zona Climática:	D	Zona climática de invierno
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>	
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>	
Carga Interna	Baja	

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Valladolid, Huesca, Zamora

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,65
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,274
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,410
					CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,650
					CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,28
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,305
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,350
					CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,4
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03		<b>P<sub>100</sub></b>	9
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H 2020:</sub></b>	1,76	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1,8	CUMPLE
<b>U<sub>H CTE2013:</sub></b>	1,60			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.59-U0.39</b>				
<b>Superficie</b>	388 m <sup>2</sup>	<b>B'</b>	7,92	
<b>Perímetro</b>	98 m			
<b>Grosor Aislamiento:</b>	9 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
<b>U<sub>s1</sub> Primer metro de la losa</b>	0,594	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE
<b>U<sub>s1</sub> Resto de la losa</b>	0,354	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE11		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,27 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	A <sub>te</sub> /A <sub>ue</sub> 0,494897959		<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	742,65
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
			<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor cm</b>	<b>λ W/mk</b>	<b>R m<sup>2</sup>K/W</b>
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,57		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,246
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,850
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100	
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009	
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036	
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600	
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035	
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32	
Coef.b reducción				0,67	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,29
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,85	
<b>CUMPLE</b>						

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53** Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entreligado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,77
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,2
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719	
		0				
		0				
		0				
		0				
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13	
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22	
Coef.b reducción				0,59	U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,48
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,85	
<b>CUMPLE</b>						

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,2
					CUMPLE

Ubicación:	Vitoria		
Normativa:	<b>CTE20</b>		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		<b>CTE2020</b>
Zona Climática:	D	Zona climática de invierno	D
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	1
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m <sup>3</sup>		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m <sup>2</sup>		
Carga Interna	Baja		

Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida
Vitoria, Palencia, Pamplona

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	3,65
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,274
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,410

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,39
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,418
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,650

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	3,28
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,305
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	0,350

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>				
Posición	Vertical - (>60° - Ventanas)		$U_{H,p}$	1
Tipo de marco	PVC dos cámaras		$U_{H,m}$	2,2
Color del Marco	Marrón Medio		$U_{H,v}$	1,4
Tipo de cristal	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03		$P_{100}$	9
% sup. marco	25,00%		$\alpha$	0,75
% sup. vidrio	75,00%		$g_l$	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
$U_H$ 2020:	1,76	Máxima U (W/m2-K)	1,8	CUMPLE
$U_H$ CTE2013:	1,60			
Tipo de marco:	Madera/PVC Doble	% Intercalarios	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.59-U0.39</b>				
Superficie	388 m <sup>2</sup>	$B'$	7,92	
Perímetro	98 m			
Grosor Aislamiento:	9 cm			
Longitud del aislamiento (D)	1,5 m			
$U_{s,1}$ Primer metro de la losa	0,594	Máxima U (W/m2-K)	0,6	CUMPLE
$U_{s1}$ Resto de la losa	0,354	Máxima U (W/m2-K)	0,6	CUMPLE

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

Tipo exterior	SATE11		$Q_{ue}$	1552,00
Superficie con el exterior	784,00 m <sup>2</sup>		$Q_{ui}$	1164,00
Superficie entre los dos espacios	388,00 m <sup>2</sup>		$U_{ue}$	0,27 W/m <sup>2</sup> K
Relación entre superficies	$A_{te}/A_{ue}$	0,494897959	$U_{ui}$	0,43 W/m <sup>2</sup> K
Volumen espacio no habitable	1552,00 m <sup>3</sup>		$H_{ue}$	742,65
Volumen espacio habitable	1164,00 m <sup>3</sup>		$H_{ui}$	563,33
			<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			$R_{total}$ (m <sup>2</sup> K/W)	2,32
Coef.b reducción	0,57		$U$ (W/m <sup>2</sup> -K)	0,246
			Máxima U (W/m2-K)	0,850
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,2</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
					CUMPLE

Ubicación:	Zaragoza		
Normativa:	CTE20		
Tipo edificio:	Residenciales		
Tipo de intervención:	Nuevos		CTE2020
Zona Climática:	D	Zona climática de invierno	D
Envolvente:	Envolvente 3	Zona climática de verano	3
Volumen (m <sup>3</sup> ):	6596m3		
Sup.ext. Total (m <sup>2</sup> ):	2516,91m2		
Carga Interna	Baja		

<b>Provincias con zonas climáticas similares a la ubicación elegida</b>
Zaragoza

**PUENTES TERMICOS**

Tipo PT	Longitud (m)	Y (Wm/K)	L*Y (WK)	
Frente de forjado	310,00	0,12	37,20	Modificado. Por defecto 0,97
Cubiertas planas	244,15	0,96	234,38	
Esquinas interiores	74,40	-0,16	-11,90	
Esquinas exteriores	0,00	0,11	0,00	
Afeizar	112,05	0,08	8,96	Modificado. Por defecto 0,44
Dinteles/Capialzados	112,05	0,10	11,21	Modificado. Por defecto 0,82
Jambas	310,30	0,04	12,41	Modificado. Por defecto 0,53
Suelos en contacto con el terreno	36,10	0,57	20,58	
Pilares	0,00	1,20	0,00	
Forjado interior en contacto con aire	0,00	0,86	0,00	
<b>Total puentes térmicos</b>	<b>1199,05</b>	<b>0,26</b>	<b>312,84</b>	

**CERRAMIENTOS UTILIZADOS PARA LA ENVOLVENTE**

Cumple

**Cerramiento de fachada:**
**SATE11**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	11	0,0375		2,933333333
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,17
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,65
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,274
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,410

CUMPLE

**Cerramiento medianera:**
**SATE06**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	1,5	0,55		0,027272727
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	6	0,0375		1,6
Fábricas de ladrillo	1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	11,5	0,667		0,172413793
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	3	0		0,16
Fábricas de ladrillo	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	0,432		0,138888889
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	2,39
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,418
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,650

CUMPLE

**Cerramiento cubierta:**
**CubU=0,30**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,04
Cerámicos	Teja de arcilla cocida	12	1		0,12
Maderas	Tableros de fibras, incluyendo MDF d < 200	1	0,07		0,142857143
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilár	2	0		0,16
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]	9	0,0375		2,4
Bituminosos	Betún fieltro o lámina	0,1	0,23		0,004347826
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275330396
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,1
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	3,28
				U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,305
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,350

CUMPLE

**Cerramiento de huecos:**

<b>PVCe1.60 4-20-4</b>				
<b>Posición</b>	Vertical - (>60° - Ventanas)		<b>U<sub>H,p</sub></b>	1
<b>Tipo de marco</b>	PVC dos cámaras		<b>U<sub>H,m</sub></b>	2,2
<b>Color del Marco</b>	Marrón Medio		<b>U<sub>H,v</sub></b>	1,4
<b>Tipo de cristal</b>	4-20-4 Vidrio Baja emisividad - e < 0,03		<b>P<sub>100</sub></b>	9
% sup. marco	25,00%		<b>α</b>	0,75
% sup. vidrio	75,00%		<b>g<sub>l</sub></b>	0,75
% sup. cajón de persiana	0,00%			
<b>U<sub>H 2020:</sub></b>	1,76	<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	1,8	CUMPLE
<b>U<sub>H CTE2013:</sub></b>	1,60			
<b>Tipo de marco:</b>	Madera/PVC Doble	<b>% Intercalarios</b>	10%	

**Cerramiento de soleras:**

<b>U0.59-U0.39</b>				
<b>Superficie</b>	388	m <sup>2</sup>	<b>B'</b>	7,92
<b>Perímetro</b>	98	m		
<b>Grosor Aislamiento:</b>	9	cm		
Longitud del aislamiento (D)	1,5	m		
<b>U<sub>s1</sub> Primer metro de la losa</b>	0,594		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6
<b>U<sub>s1</sub> Resto de la losa</b>	0,354		<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,6

**Para cálculo de b en caso de no habitable**

<b>Tipo exterior</b>	SATE11		<b>Q<sub>ue</sub></b>	1552,00
<b>Superficie con el exterior</b>	784,00 m <sup>2</sup>		<b>Q<sub>ui</sub></b>	1164,00
<b>Superficie entre los dos espacios</b>	388,00 m <sup>2</sup>		<b>U<sub>ue</sub></b>	0,27 W/m <sup>2</sup> K
<b>Relación entre superficies</b>	A <sub>te</sub> /A <sub>ue</sub> 0,494897959		<b>U<sub>ui</sub></b>	0,43 W/m <sup>2</sup> K
<b>Volumen espacio no habitable</b>	1552,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ue</sub></b>	742,65
<b>Volumen espacio habitable</b>	1164,00 m <sup>3</sup>		<b>H<sub>ui</sub></b>	563,33
			<b>b</b>	0,57

**Forjado NH P1 Tiene requisitos de máxima transmitancia**

<b>F-Cub 0,28</b>				
<b>Familia de material</b>	<b>Material</b>	<b>espesor</b> cm	<b>λ</b> W/mk	<b>R</b> m <sup>2</sup> K/W
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,1
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3	0,008695652
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55	0,036363636
Forjados unidireccion	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908	0,275330396
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/(mK)]	6	0,0375	1,6
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0	0,16
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719
		0		
		0		
		0		
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,1
			<b>R<sub>total</sub> (m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,32
<b>Coef.b reducción</b>	0,57		<b>U (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	0,246
			<b>Máxima U (W/m2-K)</b>	0,850
				CUMPLE

Forjado NH P5 Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,28**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	6	0,0375		1,600
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	2,32
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,29</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>
<b>CUMPLE</b>					

Forjado P2,P3,P4: Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo forjado

**F-Cub 0,53**

Zona A y B no necesitan aislamiento

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,100
Cerámicos	Plaqueta o baldosa de gres	2	2,3		0,009
Morteros	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido	2	0,55		0,036
Forjados unidirección	FU entrevigado cerámico -Canto 250 mm	25	0,908		0,275
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533
Cámaras de aire	Cámara de aire sin ventilar	3	0		0,160
Yesos	Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	2	0,25		0,080
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,100
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,29
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,77</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>1,2</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior con zonas comunes Tiene requisito de transmitancia máxima

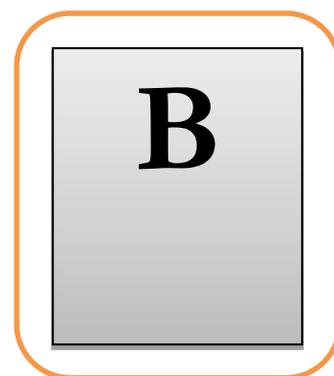
**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R	$m^2K/W$
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1			0,13
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375		0,533333333
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222		0,18
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57		0,035087719
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1			0,13
				Rtotal ( $m^2K/W$ )	1,22
				U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,48</b>
				Máxima U ( $W/m^2 \cdot K$ )	<b>0,85</b>
<b>CUMPLE</b>					

Partición interior Tiene requisitos de máxima transmitancia. Se deja siempre el mismo

**ParInt U=0,88**

Familia de material	Material	espesor cm	$\lambda$ W/mk	R m <sup>2</sup> K/W	
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial exterior	1		0,13	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Aislantes	EPS Poliestireno Expandido [ 0,037 W/[mK]]	2	0,0375	0,533333333	
Fábricas de ladrillo	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	4	0,222222222	0,18	
Enlucidos	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	0,57	0,035087719	
		0			
		0			
		0			
		0			
Exterior/Interior	Resistencia térmica superficial interior	1		0,13	
				Rtotal (m <sup>2</sup> K/W)	1,22
				U (W/m <sup>2</sup> K)	<b>0,82</b>
				Máxima U (W/m <sup>2</sup> K)	1,2
					CUMPLE



---

## BIBLIOGRAFÍA

## 1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Fraile-García, J. Ferreiro-Cabello, M. Mendivil-Giro, y A. S. Vicente-Navarro, «Thermal behaviour of hollow blocks and bricks made of concrete doped with waste tyre rubber», *Constr Build Mater*, vol. 176, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.015.
- [2] A. San Vicente-Navarro, M. Mendivil-Giro, J. Los Santos-Ortega, E. Fraile-García, y J. Ferreiro-Cabello, «Alternative Use of the Waste from Ground Olive Stones in Doping Mortar Bricks for Sustainable Façades», *Buildings*, vol. 13, n.º 12, p. 2992, nov. 2023, doi: 10.3390/buildings13122992.
- [3] IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético, «Poderes caloríficos inferiores de los principales residuos», 2020.
- [4] Naciones Unidas, «Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible», 2019.
- [5] Gobierno de España, «España Circular 2030. Estrategia Española de Economía Circular», *Estrategia Española de Economía Circular*, 2020.
- [6] C. Meyer, «The greening of the concrete industry», *Cem Concr Compos*, vol. 31, n.º 8, pp. 601-605, 2009, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2008.12.010.
- [7] V. M. Malhotra, «Global warming, and role of supplementary cementing materials and superplasticisers in reducing greenhouse gas emissions from the manufacturing of portland cement.», *International Journal of Structural Engineering*, vol. 1, n.º 2, pp. 116-130, 2010.
- [8] M. C. Martínez-Rodríguez, L. E. Campos-Villegas, y J. Castillo-Monroy, «Metodologías para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero: descripción del proyecto de control en una industria productora de cemento», *Revista Tecnología en Marcha*, 2021, doi: 10.18845/tm.v34i3.5313.
- [9] E. Fraile-García, J. Ferreiro-Cabello, L. M. López-Ochoa, y L. M. López-González, «Study of the technical feasibility of increasing the amount of recycled concrete waste used in ready-mix concrete production», *Materials*, vol. 10, n.º 7, 2017, doi: 10.3390/ma10070817.

- 
- [10] M. de F. Gobierno de España, «CTE Código Técnico de la Edificación», *Boletín oficial del estado real decreto 732/2019, De 20 diciembre, por el que se modifica el código técnico de la edificación*, 2019.
- [11] Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, «Directiva (UE) 2018/844 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*, vol. 6, n.º 2, 2018.
- [12] European Commission, «Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings», *Official Journal Of The European Union*, pp. 65-71, 2002, doi: 10.1039/ap9842100196.
- [13] Entranze, «Overview of the Eu-27 Building Policies and Programs. Factsheets on the Nine Entranze Target Countries», p. 256, 2014.
- [14] B. Yesilata, Y. Isiker, y P. Turgut, «Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces», *Constr Build Mater*, vol. 23, n.º 5, pp. 1878-1882, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.09.014.
- [15] A. B. De Melo y E. P. Silva, «Bloques de hormigón ligero con áridos reciclados de EVA: una contribución a la eficiencia térmica de paredes exteriores de edificios», *Materiales de Construcción*, vol. 63, n.º 312, pp. 479-495, 2013, doi: 10.3989/mc.2013.05912.
- [16] I. Zapata Ferrero, G. Botasso, y J. Rivera, «Evaluación a fatiga de asfaltos modificados con caucho utilizando el reómetro de corte dinámico», *AJEA*, n.º 15, 2022, doi: 10.33414/ajea.1114.2022.
- [17] ETRMA, «End of life tyres - A valuable resource with growing potential», pp. 1-22, 2011.
- [18] European Parliament and Council, «Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain directives», *Official Journal of the European Union*, pp. 3-30, 2008, doi: 2008/98/EC.; 32008L0098.
- [19] Á. Uruburu, E. Ponce-Cueto, J. R. Cobo-Benita, y J. Ordieres-Meré, «The new challenges of end-of-life tyres management systems: A Spanish case study», *Waste Management*, vol. 33, n.º 3, pp. 679-688, 2013, doi: 10.1016/j.wasman.2012.09.006.
- [20] UNEP/SETAC, «Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2020», 2020.
-

- 
- [21] M. Martín-Morales *et al.*, «Comportamiento de ecoladrillos con inclusión de biomásas residuales», *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*, 2018, doi: 10.51302/tce.2018.223.
- [22] Parlamento Europeo, «Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018», 2018.
- [23] Parlamento Europeo, «Directiva (UE) 2018/849 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifican la Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil, la Directiva 2006/66/CE relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores y la Directiva 2012/19/UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos».
- [24] Comisión Europea- Secretaría General, «Guía para la Estrategia Europea de Desarrollo Sostenible», 2007.
- [25] W. G. A. Hussein, A. A. Al-Sultan, y F. H. Al-Ani, «Acoustic and thermal insulation properties of recycled aggregate mortar», *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1067, n.º 1, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1067/1/012022.
- [26] B. Belhadj, M. Bederina, N. Montrelay, J. Houessou, y M. Quéneudec, «Effect of substitution of wood shavings by barley straws on the physico-mechanical properties of lightweight sand concrete», *Constr Build Mater*, vol. 66, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.05.090.
- [27] R. C. Kanning, K. F. Portella, M. O. G. P. Bragança, M. M. Bonato, y J. C. M. Dos Santos, «Banana leaves ashes as pozzolan for concrete and mortar of Portland cement», *Constr Build Mater*, vol. 54, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.12.030.
- [28] B. H. Sada, Y. D. Amartey, y S. Bako, «AN INVESTIGATION INTO THE USE OF GROUNDNUT SHELL AS FINE AGGREGATE REPLACEMENT», *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)*, vol. 32, n.º 1, 2013.
- [29] M. Mageswari y B. Vidivelli, «the Use of Sawdust Ash As Fine Aggregate Replacement in Concrete», *Journal of Environmental Research And Development*, vol. 3, n.º 3, 2009.
- [30] D. K. Panesar y B. Shindman, «The mechanical, transport and thermal properties of mortar and concrete containing waste cork», *Cem Concr Compos*, vol. 34, n.º 9, 2012, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2012.06.003.
-

- 
- [31] P. O. Modani y M. R. Vyawahare, «Utilization of bagasse ash as a partial replacement of fine aggregate in concrete», en *Procedia Engineering*, 2013. doi: 10.1016/j.proeng.2013.01.007.
- [32] A. N. Givi, S. A. Rashid, F. N. A. Aziz, y M. A. M. Salleh, «Assessment of the effects of rice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete», *Constr Build Mater*, vol. 24, n.º 11, 2010, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.04.045.
- [33] F. Barreca y C. R. Fichera, «Use of olive stone as an additive in cement lime mortar to improve thermal insulation», *Energy Build*, vol. 62, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.03.040.
- [34] E. Fraile-García, J. Ferreiro-Cabello, L. M. López-Ochoa, y L. M. López-González, «Study of the technical feasibility of increasing the amount of recycled concrete waste used in ready-mix concrete production», *Materials*, vol. 10, n.º 7, 2017, doi: 10.3390/ma10070817.
- [35] Á. Uruburu, E. Ponce-Cueto, J. R. Cobo-Benita, y J. Ordieres-Meré, «The new challenges of end-of-life tyres management systems: A Spanish case study», *Waste Management*, vol. 33, n.º 3, 2013, doi: 10.1016/j.wasman.2012.09.006.
- [36] B. Yesilata, Y. Isiker, y P. Turgut, «Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces», *Constr Build Mater*, vol. 23, n.º 5, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.09.014.
- [37] L. E. Malagón Vélez, «Aportes conceptuales de la economía social y solidaria a la economía circular», *Cuadernos de Administración*, vol. 37, n.º 70, 2021, doi: 10.25100/cdea.v37i70.10824.
- [38] Comisión Europea, *Nuevo Plan de acción para la economía circular*. 2020.
- [39] Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, «Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018, por la que modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos», *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2018.
- [40] UE, «Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.», *Parlamento Europeo*, 2008.
-

- 
- [41] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, «Estrategia Española de Economía Circular ESPAÑA CIRCULAR 2030». [En línea]. Disponible en: [www.miteco.es](http://www.miteco.es)
- [42] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, «I PLAN DE ACCIÓN DE ECONOMÍA CIRCULAR 2021-2023 ESTRATEGIA ESPAÑOLA DE ECONOMÍA CIRCULAR». [En línea]. Disponible en: [www.miteco.es](http://www.miteco.es)
- [43] C. Alejandrino, «Evaluación de costos de ciclo de vida en el marco del desarrollo sostenible.», en *Jornadas de Ciencias Económicas 2020: investigación y vinculación*, 2020.
- [44] A. B. De Melo y E. P. Silva, «Bloques de hormigón ligero con áridos reciclados de EVA: Una contribución a la eficiencia térmica de paredes exteriores de edificios», *Materiales de Construcción*, vol. 63, n.º 312, 2013, doi: 10.3989/mc.2013.05912.
- [45] P. y Alimentación. G. de E. Ministerio de Agricultura, «Anuario de estadística 2021», 2021.
- [46] Fundación Conama, «Estudio de la distribución del consumo energético residencial para calefacción en España», 2017.
- [47] PROYECTO SECH-SPAHOUSEC Análisis del consumo energético del sector residencial en España, «PROYECTO SECH-SPAHOUSEC Análisis del consumo energético del sector residencial en España», 2011.
- [48] IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético, «SPAHOUSEC II: Análisis estadístico del consumo de gas natural en las viviendas principales con calefacción individual», 2019. [En línea]. Disponible en: [www.idae.es](http://www.idae.es)
- [49] Asociación de Ciencias Ambientales, «Pobreza, vulnerabilidad y desigualdad energética», 2016.
- [50] AveBiom, «Índice de precios de HUESO de ACEITUNA para uso doméstico en España», 2022. [En línea]. Disponible en: [www.avebiom.org](http://www.avebiom.org)
- [51] AENOR, «UNE 164003:2022 Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de biocombustibles. Huesos de aceituna.», 2022.
- [52] N. B. de la Edificación, «NBE-CT-79», *Condiciones Térmicas de los Edificios*. 1979.
- [53] E. Editorial, «Reglamento de instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria con el fin de racionalizar su consumo energético, Real Decreto
-

- 1618/1980 de 4 de julio», *Informes de la Construcción*, vol. 32, n.º 328, 1981, doi: 10.3989/ic.1981.v32.i328.2273.
- [54] E. Commission, «DIRECTIVA 2002/91/CE del Parlamento Europeo Consejo de 16 de Diciembre de 2002 relativa a la Eficiencia Energetica de los Edificios», *Boletín Oficial de la comunidad Esiropea*, vol. L 1, n.º 11, 2003.
- [55] Ministerio de vivienda, «REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación», *Boletín oficial del estado*, n.º 74, 2006.
- [56] RITE, «Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.», *Boletín Oficial del Estado*, vol. 71, 2021.
- [57] M. de la Presidencia, «REAL DECRETO 47/2007», *Boletín oficial del estado*, vol. 27. 2007.
- [58] UE, «Directiva 2010/31/UE Eficiencia Energetica de los Edificios», *UE*. 2010.
- [59] Unión Europea, «Directiva 2012/27/UE del parlamento Europeo y del Consejo», *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2012.
- [60] Parlamento Europeo, «Directiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018», 2018.
- [61] M. Rodríguez Pérez y V. Rodríguez González, «Guía de aplicación del DBHE-2019», *Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España*, 2020.
- [62] A. Kashani, T. D. Ngo, P. Mendis, J. R. Black, y A. Hajimohammadi, «A sustainable application of recycled tyre crumbs as insulator in lightweight cellular concrete», *J Clean Prod*, vol. 149, pp. 925-935, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.02.154.
- [63] P. Turgut y B. Yesilata, «Physico-mechanical and thermal performances of newly developed rubber-added bricks», *Energy Build*, vol. 40, n.º 5, pp. 679-688, 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.05.002.
- [64] I. Marie, «Thermal conductivity of hybrid recycled aggregate – Rubberized concrete», *Constr Build Mater*, vol. 133, pp. 516-524, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.113.
- [65] P. Sukontasukkul, «Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel», *Constr Build Mater*, vol. 23, n.º 2, pp. 1084-1092, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.05.021.

- 
- [66] E. Sodupe-Ortega, E. Fraile-Garcia, J. Ferreiro-Cabello, y A. Sanz-Garcia, «Evaluation of crumb rubber as aggregate for automated manufacturing of rubberized long hollow blocks and bricks», *Constr Build Mater*, vol. 106, pp. 305-316, mar. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.131.
- [67] N. F. Medina, D. F. Medina, F. Hernández-Olivares, y M. A. Navacerrada, «Mechanical and thermal properties of concrete incorporating rubber and fibres from tyre recycling», *Constr Build Mater*, vol. 144, pp. 563-573, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.196.
- [68] M. M. Abdel Kader, S. M. Abdel-wehab, M. A. Helal, y H. H. Hassan, «Evaluation of thermal insulation and mechanical properties of waste rubber/natural rubber composite», *HBRC Journal*, vol. 8, n.º 1, pp. 69-74, 2012, doi: 10.1016/j.hbrcj.2011.11.001.
- [69] R. Siddique y T. R. Naik, «Properties of concrete containing scrap-tire rubber - An overview», *Waste Management*, vol. 24, n.º 6, pp. 563-569, 2004, doi: 10.1016/j.wasman.2004.01.006.
- [70] F. Pacheco-Torgal, Y. Ding, y S. Jalali, «Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): An overview», *Constr Build Mater*, vol. 30, pp. 714-724, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.11.047.
- [71] J. Ferreiro-Cabello, E. Fraile-Garcia, A. Pernia-Espinoza, y F. J. Martínez-de-Pison, «Strength Performance of Different Mortars Doped Using Olive Stones as Lightweight Aggregate», *Buildings*, vol. 12, n.º 10, oct. 2022, doi: 10.3390/buildings12101668.
- [72] AENOR, «UNE-EN 12939:2009 Thermal performance of building materials and products - Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - Thick products of high and medium thermal resistance», AENOR, 2009.
- [73] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, «Escala de calificación energética Edificios existentes», 2011.
- [74] Gobierno de España, «Catálogo de elementos constructivos del CTE», *Código técnico de la edificación CTE*, vol. 3, 2010.
- [75] I. Ballarini y V. Corrado, «A new methodology for assessing the energy consumption of building stocks», *Energies (Basel)*, vol. 10, n.º 8, 2017, doi: 10.3390/en10081102.
-

- 
- [76] IDAE, «Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios», *Soluciones de Aislamiento con Vidrios y Cerramientos*, 2007.
- [77] ISO, «UNE-EN ISO 10211», *Office*, 2012.
- [78] Ministerio de Transporte Movilidad y Agenda Urbana, «Cálculo de parámetros característicos de la envolvente», *Documento de Apoyo al Documento Básico DA-DB-HE/1*, 2020.
- [79] M. G. Cypriano *et al.*, «Evaluation of the accelerated degradation of mortar in a ceramic coating facade system», en *Materials Science Forum*, 2018. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.912.65.
- [80] G. Verdum *et al.*, «Mortar coating degradation in historical buildings facades from Rio Grande do Sul – Brazil», *Constr Build Mater*, vol. 310, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125221.
- [81] M. J. Carretero-Ayuso, M. T. Pinheiro-Alves, y M. P. Sáez-Pérez, «PARAMETERISATION OF THE DEGRADATION PROCESSES IN COATED FAÇADES WITH ONE COAT MORTAR RENDERS», en *REHABEND*, 2022.
- [82] AENOR, *UNE-EN ISO 14040*. 2006.
- [83] UNEP Setac Life Cycle Initiative, «Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2020 Pilot», *Management*, vol. 15, n.º 2, 2022.
- [84] IDAE, «Informe de Precios de la Biomasa para Usos Térmicos», *Informe técnico*, 2019.
- [85] M. Finkbeiner, A. Inaba, R. B. H. Tan, K. Christiansen, y H. J. Klüppel, «The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044», *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 11, n.º 2. 2006. doi: 10.1065/lca2006.02.002.
- [86] Ecoinvent, «Ecoinvent database v3», *Ecoinvent v3.9*.
- [87] AENOR, *UNE-EN ISO 14044 2006-A2 2021. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices. Modificación 2 (ISO 14044:2006/Amd 2:2020)*. 2020.
- [88] F. Colangelo, A. Forcina, I. Farina, y A. Petrillo, «Life Cycle Assessment (LCA) of different kinds of concrete containing waste for sustainable construction», *Buildings*, vol. 8, n.º 5, 2018, doi: 10.3390/buildings8050070.
-

- 
- [89] T. Pavlu, V. Kocí, y P. Hájek, «Environmental assessment of two use cycles of recycled aggregate concrete», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, n.º 21, 2019, doi: 10.3390/su11216185.
- [90] G. Espadas-Aldana, C. Vialle, J. P. Belaud, C. Vaca-Garcia, y C. Sablayrolles, «Analysis and trends for Life Cycle Assessment of olive oil production», *Sustainable Production and Consumption*, vol. 19. 2019. doi: 10.1016/j.spc.2019.04.003.
- [91] M. Uceda-Rodríguez, A. B. López-García, J. M. Moreno-Maroto, C. J. Cobo-Ceacero, M. T. Cotes-Palomino, y C. M. García, «Evaluation of the environmental benefits associated with the addition of olive pomace in the manufacture of lightweight aggregates», *Materials*, vol. 13, n.º 10, 2020, doi: 10.3390/ma13102351.
- [92] M. Rapa y S. Ciano, «A Review on Life Cycle Assessment of the Olive Oil Production», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, n.º 2. 2022. doi: 10.3390/su14020654.
- [93] A. B. López-garcía *et al.*, «Application of life cycle assessment in the environmental study of sustainable ceramic bricks made with 'alperujo' (Olive pomace)», *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, n.º 5, 2021, doi: 10.3390/app11052278.
- [94] N. B. R. Monteiro, J. M. Moita Neto, y E. A. da Silva, «Environmental assessment in concrete industries», *J Clean Prod*, vol. 327, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129516.
- [95] R. Griebhammer *et al.*, «Feasibility Study : Integration of social aspects into LCA», 2.0 LCA consultants.
- [96] A. Jørgensen, A. Le Bocq, L. Nazarkina, y M. Hauschild, «Methodologies for Social LCA Methodologies for Social Life Cycle Assessment\*», *Int J LCA*, vol. 13, n.º 132, 2008.
- [97] O. Martucci, G. Arcese, C. Montauti, y A. Acampora, «Social aspects in the wine sector: Comparison between social life cycle assessment and VIVA Sustainable wine project indicators», *Resources*, vol. 8, n.º 2, 2019, doi: 10.3390/resources8020069.
- [98] P. Lenzo, M. Traverso, R. Salomone, y G. Ioppolo, «Social life cycle assessment in the textile sector: An italian case study», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 9, n.º 11, 2017, doi: 10.3390/su9112092.
- [99] M. D'Eusanio, A. Lehmann, M. Finkbeiner, y L. Petti, «Social Organizational Life Cycle Assessment: an approach for identification of relevant subcategories for wine production in Italy», *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 25, n.º 6, 2020, doi: 10.1007/s11367-020-01746-4.
-

- [100] A. Rivera-Huerta, M. de la S. R. Lozano, A. Padilla-Rivera, y L. P. Güereca, «Social sustainability assessment in livestock production: A social life cycle assessment approach», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, n.º 16, 2019, doi: 10.3390/su11164419.
- [101] M. Serreli, L. Petti, A. Raggi, A. Simboli, y G. Iuliano, «Social life cycle assessment of an innovative industrial wastewater treatment plant», *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 26, n.º 9, 2021, doi: 10.1007/s11367-021-01942-w.
- [102] F. García-Muiña, M. S. Medina-Salgado, R. González-Sánchez, I. Huertas-Valdivia, A. M. Ferrari, y D. Settembre-Blundo, «Industry 4.0-based dynamic Social Organizational Life Cycle Assessment to target the social circular economy in manufacturing», *J Clean Prod*, vol. 327, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129439.
- [103] L. Pollok, S. Spierling, H. J. Endres, y U. Grote, «Social life cycle assessments: A review on past development, advances and methodological challenges», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, n.º 18. 2021. doi: 10.3390/su131810286.
- [104] S. L. Alonso, «Análisis de Ciclo de Vida Social, Propuesta Metodológica para su aplicación en edificios.», *Universidad Complutense de Madrid*, 2017.
- [105] Naciones Unidas, «Declaración Universal de Derechos Humanos», 1948.
- [106] E. Lobsiger-Kägi, L. López, T. Kuehn, R. Roth, V. Carabias, y C. Zipper, «Social life cycle assessment: Specific approach and case study for Switzerland», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, n.º 12, 2018, doi: 10.3390/su10124382.
- [107] S. Liu y S. Qian, «Evaluation of social life-cycle performance of buildings: Theoretical framework and impact assessment approach», *J Clean Prod*, vol. 213, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.12.200.
- [108] Ministerio de Industria Energía y Turismo, «FACTORES DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> y COEFICIENTES DE PASO A ENERGÍA PRIMARIA DE DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA FINAL CONSUMIDAS EN EL SECTOR DE EDIFICIOS EN ESPAÑA», *Documento Reconocido del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)*, 2016.