



Escuela Técnica Superior de  
**Ingeniería de Edificación**



# PROYECTO FIN DE GRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS PUENTES  
TÉRMICOS EN FRENTE DE FORJADO Y SU  
EFECTO EN LA DEMANDA ENERGÉTICA DE UN  
EDIFICIO

**AUTOR:** Fernández Quiñones, Juan Antonio

**TITULACIÓN:** Grado en Ciencia y Tecnología de la Edificación

**TUTOR ACADÉMICO:** Dr. D. Juan José Moyano Campos

**DEPARTAMENTO:** Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación

**CONVOCATORIA:** Mayo 2018



# ÍNDICE

<b>0.- RESUMEN Y ABSTRACT .....</b>	<b>1</b>
0.1.- RESUMEN.....	1
0.2.- ABSTRACT .....	1
<b>1.- JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2.- INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
2.1.- LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA .....	3
2.2.- LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.....	4
<b>3.- ESTADO DE LA CUESTIÓN .....</b>	<b>6</b>
3.1.- LA PROBLEMÁTICA DE LOS PUENTES TÉRMICOS EN ESPAÑA .....	6
3.2.- LA PROBLEMÁTICA DE LOS PUENTES TÉRMICOS EN EL EXTRANJERO	9
<b>4.- MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>12</b>
4.1.- LOS PUENTES TÉRMICOS .....	12
4.1.1.- Definición de puente térmico .....	12
4.1.2.- Clasificación de los puentes térmicos .....	13
4.1.3.- Métodos para el cálculo de los puentes térmicos .....	14
4.2.- LA TRANSMISIÓN DE CALOR.....	16
4.2.1.- Definición de transmisión de calor.....	16
4.2.2.- Cálculo de la transmisión de calor en puentes térmicos.....	16
4.3.- LA TRANSMITANCIA TÉRMICA.....	17
4.3.1.- Definición de la transmitancia térmica.....	17
4.3.2.- Cálculo de la transmitancia térmica .....	17
4.3.3.- Definición de la transmitancia térmica lineal.....	19
4.3.4.- Cálculo de la transmitancia térmica lineal .....	20
4.4.- CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS .....	21
4.4.1.- Riesgo de formación de condensaciones superficiales .....	21
4.4.2.- Limitación del riesgo de formación de moho.....	22
<b>5.- MARCO NORMATIVO .....</b>	<b>25</b>
5.1.- CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. DOCUMENTO BÁSICO HE. AHORRO DE ENERGÍA. CTE DB HE.....	25
5.1.1.- Sección DB-HE-0. Limitación del consumo energético .....	25
5.1.2.- Sección DB-HE-1. Limitación de la demanda energética.....	26
5.2.- CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE .....	27

5.3.- DOCUMENTO DE APOYO AL DOCUMENTO BÁSICO HE. AHORRO DE ENERGÍA. DA DB HE-1. CÁLCULO DE PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA ENVOLVENTE.....	27
5.4.- DOCUMENTO DE APOYO AL DOCUMENTO BÁSICO HE. AHORRO DE ENERGÍA. DA DB HE-2. COMPROBACIÓN DE LIMITACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES E INTERSTICIALES EN LOS CERRAMIENTOS .....	27
5.5.- DOCUMENTO DE APOYO AL DOCUMENTO BÁSICO HE. AHORRO DE ENERGÍA. DA DB HE-3. PUENTES TÉRMICOS .....	28
5.6.- REAL DECRETO 564/2017, DE 2 DE JUNIO, POR EL QUE SE MODIFICA EL REAL DECRETO 235/2013, DE 5 DE ABRIL, POR EL QUE SE APRUEBA EL PROCEDIMIENTO BÁSICO PARA LA CERTIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS .....	28
5.7.- UNE-EN ISO 10211:2007. PUENTES TÉRMICOS EN EDIFICACIÓN. FLUJOS DE CALOR Y TEMPERATURAS SUPERFICIALES. CÁLCULOS DETALLADOS .....	29
5.8.- UNE-EN ISO 10456:2012. MATERIALES Y PRODUCTOS PARA LA EDIFICACIÓN. PROPIEDADES HIGROTÉRMICAS. VALORES TABULADOS DE DISEÑO Y PROCEDIMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS VALORES TÉRMICOS DECLARADOS Y DE DISEÑO.....	30
5.9.- UNE-EN ISO 13788:2016. CARACTERÍSTICAS HIGROTÉRMICAS DE LOS ELEMENTOS Y COMPONENTES DE EDIFICACIÓN. TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR PARA EVITAR LA HUMEDAD SUPERFICIAL CRÍTICA Y LA CONDENSACIÓN INTERSTICIAL. MÉTODOS DE CÁLCULO .....	30
<b>6.- OBJETIVOS.....</b>	<b>31</b>
6.1.- OBJETIVOS GENERALES .....	31
6.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	31
<b>7.- METODOLOGÍA .....</b>	<b>32</b>
7.1.- INTRODUCCIÓN .....	32
7.1.1.- 1ª ETAPA. Investigación y búsqueda de información sobre los temas que constituyen el Proyecto.....	33
7.1.2.- 2ª ETAPA. Metodología propia del proceso llevado a cabo en el estudio de los supuestos .....	34
7.1.3.- 3ª ETAPA. Discusión de los resultados y conclusiones.....	37
7.2.- EDIFICIO OBJETO DE ESTUDIO .....	38
7.2.1.- Ubicación .....	38
7.2.2.- Tipología del edificio .....	40
7.2.3.- Planimetría .....	43
7.2.4.- Termografías .....	48
7.3.- PATENTES DE SOLUCIONES A PUENTES TÉRMICOS.....	49
7.3.1.- PATENTE Nº1. Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas .....	50
7.3.2.- PATENTE Nº2. Recubrimiento para cantos de forjados .....	53
7.3.3.- PATENTE Nº3. “Abschalungselement” Elemento de encofrado .....	55



7.3.4.- Otras patentes consultadas .....	56
7.4.- SOFTWARES INFORMÁTICOS .....	59
7.4.1.- DesignBuilder.....	59
7.4.2.- THERM.....	60
7.4.3.- Análisis final de los diferentes softwares .....	61
<b>8.- ANÁLISIS DE CASOS Y DESARROLLO.....</b>	<b>62</b>
8.1.- 1ª FASE. CÁLCULO DE LOS DIFERENTES SUPUESTOS EN MURO REVESTIDO. SOFTWARE THERM .....	62
8.1.1.- Procedimiento de trabajo en el software THERM .....	62
8.1.2.- Supuesto 1. Puente térmico en frente de forjado en su estado natural .....	67
8.1.3.- Supuesto 2. Puente térmico en frente de forjado con incorporación de la “Patente nº1” .....	75
8.1.4.- Supuesto 3. Puente térmico en frente de forjado con incorporación de la “Patente nº2” .....	82
8.1.5.- Supuesto 4. Puente térmico en frente de forjado con incorporación de la “Patente nº3” .....	89
8.2.- 2ª FASE. CÁLCULO DE LOS SUPUESTOS A SIMULAR EN EL MURO CARA VISTA. SOFTWARE THERM.....	95
8.2.1.- Supuesto A. Puente térmico en frente de forjado en su estado natural .....	95
8.2.2.- Supuesto B. Puente térmico en frente de forjado con incorporación de la patente más favorable .....	101
8.3.- 3ª FASE. SIMULACIÓN ENERGÉTICA. SOFTWARE DESIGNBUILDER ..	106
8.3.1.- Modelado del edificio en el software DesignBuilder .....	106
8.3.2.- Simulación I. Simulación energética del edificio en su estado natural .....	113
8.3.3.- Simulación II. Simulación energética del edificio con incorporación de la patente más favorable .....	118
<b>9.- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>121</b>
9.1.- RESULTADOS OBTENIDOS EN LA “FASE 1” MEDIANTE THERM.....	121
9.1.1.- Resultados del “Supuesto 1” .....	121
9.1.2.- Resultados del “Supuesto 2” .....	123
9.1.3.- Resultados del “Supuesto 3” .....	125
9.1.4.- Resultados del “Supuesto 4” .....	127
9.1.5.- Comparativa de resultados .....	129
9.2.- RESULTADOS OBTENIDOS EN LA “FASE 2” MEDIANTE DESIGN BUILDER.....	132
9.2.1.- Resultados de la Simulación I .....	132
9.2.2.- Resultados de la Simulación II.....	134

9.2.3.- Comparativa de resultados .....	137
<b>10.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>140</b>
<b>11.- FUTURAS INVESTIGACIONES.....</b>	<b>142</b>
<b>12.- BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>143</b>
12.1.- PÁGINAS WEB VISITADAS .....	143
12.2.- REVISTAS, ARTÍCULOS, CATÁLOGOS Y MANUALES CONSULTADOS .....	144
12.3.- PATENTES CONSULTADAS.....	146
12.4.- TRABAJOS ACADEMICOS CONSULTADOS .....	147
<b>13.- ANEXOS .....</b>	<b>148</b>
13.1.- ANEXO II. PATENTES .....	148

## 0.- RESUMEN Y ABSTRACT

### 0.1.- RESUMEN

El objeto del presente Proyecto Fin de Grado es realizar en un primer momento una aproximación al estado del arte de los puentes térmicos de los edificios y su marco normativo. Así pues, se pretende conocer la existencia de diferentes patentes destinadas a minimizar los efectos de los puentes térmicos en los frentes de forjado y, posteriormente, realizar un análisis comparativo a nivel de demanda energética de un edificio residencial situado en Bellavista (Sevilla) antes y después de la incorporación de la innovación constructiva más favorable.

Se pretende realizar el estudio y los cálculos de los diferentes supuestos mediante softwares informáticos como THERM, destinados al cálculo de puentes térmicos, y el software DesignBuilder que realiza simulaciones energéticas, tanto con cálculo nodal como con dinámica de fluidos computacional.

Se propone también una metodología de trabajo que enlace la capacidad de minimizar los efectos de los puentes térmicos de las diferentes patentes con las mejoras que conlleve la incorporación de la innovación a nivel global en el edificio.

**Palabras clave:** Eficiencia energética, puentes térmicos, demanda energética, confort térmico, frentes de forjado, transmitancia térmica lineal, patentes.

### 0.2.- ABSTRACT

The purpose of this PFG is to carry out at first an approximation to the state of the art about thermal bridges at buildings and their normative. Thus, it is intended to know the existence of different patents aimed at minimizing the effects of thermal bridges at the framework edges and, subsequently, perform a comparative analysis about the energy demand in a residential building located in Bellavista (Seville) before and after the addition of the most favorable constructive innovation.

The aim is to carry out the study and calculations of the different assumptions using computer softwares such as THERM, designed for the calculation of thermal bridges, and DesignBuilder software that performs energy simulations, both with nodal calculation and with computational fluid dynamics.

It also proposes a work methodology that links the ability to minimize the effects of thermal bridges of different patents with the improvements that entails the incorporation of the innovation at the building.

**Keywords:** Energy efficiency, thermal bridges, Energy demand, thermal comfort, framework edges, linear thermal transmittance, patents.

## **1.- JUSTIFICACIÓN**

La decisión de elegir este tema se debe a la inquietud personal por saber y aprender sobre la eficiencia energética, para una adaptación al mundo moderno, el cual debe concienciarse poco a poco del mal que el derroche energético está causando actualmente en todos los sectores, industrial, urbanístico y de la edificación.

La eficiencia energética es un tema en auge y dinámico, del que constantemente surgen investigaciones y que además es beneficioso para el medio ambiente.

En la titulación de Grado en Edificación que se cursa en la ETSIE de la Universidad de Sevilla, se informa en varias asignaturas y se conciencia al alumnado sobre los problemas que puede generar el cambio climático, pero no se profundiza en materia de cálculos de pérdidas energéticas de la envolvente de los edificios, puentes térmicos y calificaciones energéticas.

Concretamente, el campo del cálculo de puentes térmicos mediante softwares informáticos es muy amplio y variado. Realizar todos los cálculos manualmente puede ser muy tedioso, y estos programas facilitan esa labor. Claro está, que existen algunos muy básicos, sencillos de utilizar y otros más complejos, que alcanzan mayor nivel de detalle. En este proyecto se ha decidido estudiar y utilizar uno en concreto (THERM), y así conocer las distintas posibilidades que ofrece y determinar sus principales ventajas e inconvenientes

Para poner en práctica dicho software, se han utilizado patentes referidas a los puentes térmicos que se producen en los frentes de forjados, ya que son zonas claves donde se deberían evitar la aparición de estas pérdidas energéticas.

## 2.- INTRODUCCIÓN

El objeto del presente Proyecto Fin de Grado es determinar una comparación energética a nivel de demanda de un edificio de viviendas ubicado en Sevilla capital.

En primer lugar, se pretende realizar un análisis de diferentes patentes y determinar aquella con mejores prestaciones mediante un software informático; y en segundo lugar se realiza, con otro software diferente, un estudio comparativo de parámetros energéticos, tales como la demanda energética, entre dos supuestos diferentes en el mismo edificio, con la salvedad de que a uno de los supuestos se le aplica una patente de mejora de los puentes térmicos en frentes de forjado, por lo que la comparativa global se centra en la modificación de los elementos de esa zona del edificio.

Las patentes que se han estudiado para este PFG son aquellas de aplicabilidad en los puentes térmicos en los frentes de forjado. Todas proponen un aislamiento a modo de recubrimiento en los cantos de forjado, con diferencias en el proceso constructivo y en los materiales utilizados.

Lo que se pretende es detectar las deficiencias energéticas que presenta este tipo de edificios en la zona de frentes de forjados mediante diversos softwares informáticos de cálculo de puentes térmicos que existen en el mercado, y atenuarlas con la incorporación de patentes que puedan aportar soluciones que disminuyan el consumo energético y por tanto redundar en los costes económicos de los propietarios, además de aportar el máximo confort a los mismos.

### 2.1.- LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA

Actualmente la crisis energética es una de las principales problemáticas de nuestra sociedad ya que plantea tanto el problema del agotamiento de las principales fuentes actuales, como la contribución al cambio climático y la pérdida de la calidad de vida producida por la contaminación cotidiana. Por ese motivo la eficiencia energética en los edificios es un tema que está en pleno apogeo hoy en día.

En España, a raíz del Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, se ha producido un crecimiento exponencial debido a la obligatoriedad de obtener un certificado de eficiencia energética antes de poder realizar diversas operaciones de alquiler y compra de inmuebles.

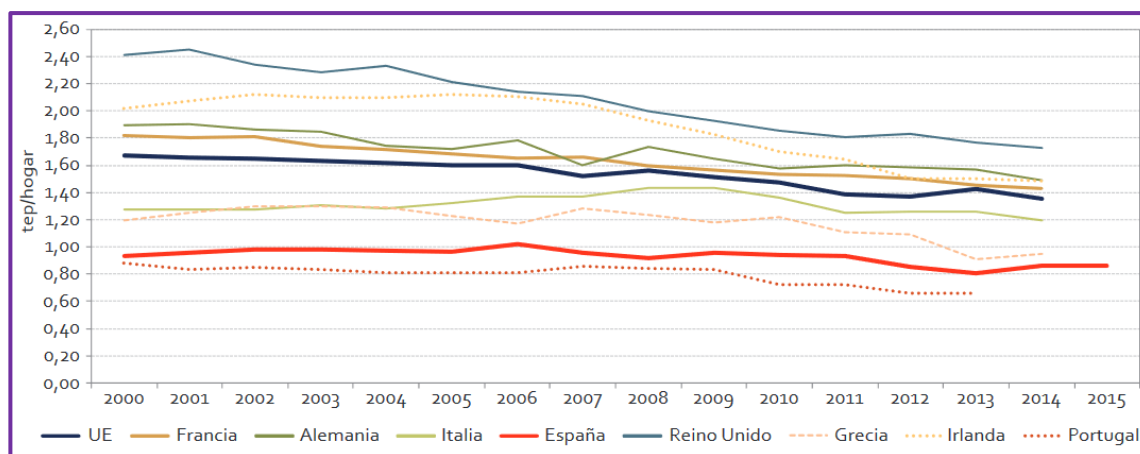
En cuanto a las exclusiones del ámbito de aplicación, han sido modificados por el Real Decreto 564/2017 (2017), referenciadas más adelante en el marco normativo de este PFG.

De esta manera, se pone en marcha un mecanismo de control de la eficiencia

energética de un edificio, que se basa principalmente en las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de energía primaria. Así, se empieza a exigir una calificación energética mínima de una D en edificios de nueva construcción.

Continuando con este plan, se pretende que, a partir del 31 de diciembre de 2020, todos los edificios que se construyan sean de consumo energético casi nulo. Estos edificios tendrán un alto nivel de eficiencia energética, con valores mínimos de emisiones y consumo de energía.

En el artículo “La energía de España” (2016), se refleja la comparativa realizada de la intensidad energética global referida al sector residencial, en el ámbito de la Unión Europea (Graf. 2.1.1).



Graf. 2.1.1. Intensidad Energética del sector residencial en España. (Figura 8.35 de La Energía de España, 2016)

Se aprecia un valor del indicador nacional un 40% por debajo del valor de la media europea. Esta diferencia se explica “por la influencia de una climatología más favorable en España, así como en otros países del sur de Europa como Italia, Grecia y Portugal. Esta bonanza climatológica justifica una menor demanda de la calefacción en España” (La Energía de España, 2016, p.182).

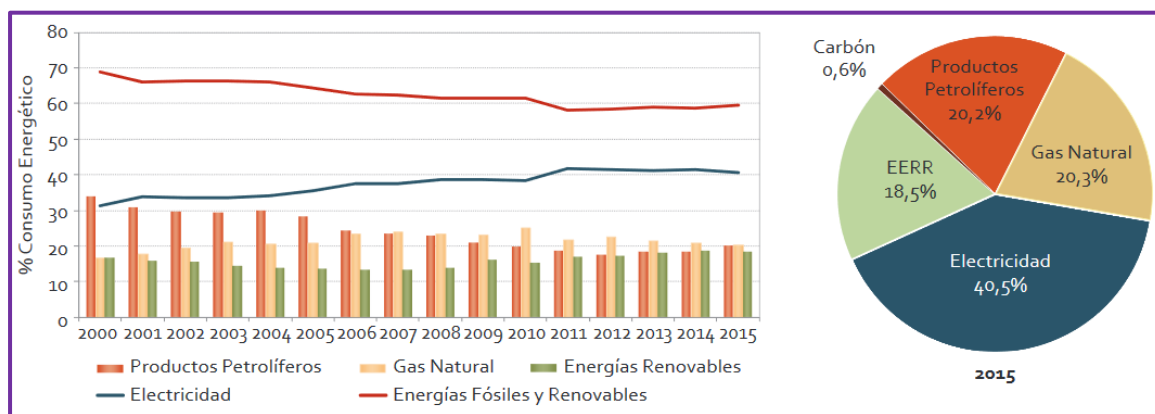
## 2.2.- LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

La exigencia básica de limitación de la demanda energética, tal y como se recoge en el Documento Básico del Código Técnico de la Edificación CTE HE-1, supone un gran avance en el objetivo de mejorar la eficiencia energética de los edificios, a la vez que se mantienen condiciones adecuadas de bienestar térmico.

En esta sección se recoge una caracterización de la exigencia limitando la demanda energética de los edificios en función de la zona climática y del uso previsto, así como también se limitan los riesgos debidos a procesos que mermen las prestaciones de la envolvente térmica, por ejemplo, las condensaciones superficiales o la aparición de

moho. (CTE HE-1, 2013, p.13).

Desde el 2005, la demanda energética media de los hogares ha seguido una tendencia a la baja, que se ha visto reforzada a partir del cambio de coyuntura económica iniciado en 2008, y la pérdida de poder adquisitivo de los hogares.



Graf. 2.2.1. Estructura de la demanda energética de los hogares por fuentes energéticas. (Figura 8.30 de La Energía en España, 2016)

Así se explica que, “la menor capacidad de gasto de las familias junto al efecto inducido por las mejoras tecnológicas en el equipamiento en instalaciones de las viviendas ha reducido los niveles de consumo energético por hogar”. (La Energía en España, 2016, p.180).

## 3.- ESTADO DE LA CUESTIÓN

### 3.1.- LA PROBLEMÁTICA DE LOS PUENTES TÉRMICOS EN ESPAÑA

En nuestro territorio existen numerosos trabajos de investigación realizados en materia de puentes térmicos, la mayoría de ellos proponen objetivos de carácter explicativo y, dedicado al tratamiento de soluciones prácticas para evitar estas fugas de energías. En ninguno de los casos encontrados, se plantea establecer una investigación cuantitativa sobre las distintas propuestas prácticas.

Los estudios realizados por Castro (2009), explican cómo y por qué se producen los puentes térmicos, así como los problemas que pueden ocasionar desde un punto de vista energético. Según Castro (2009): “Los puentes térmicos se producen como consecuencia de que un edificio, por aparentemente simple o pequeño que sea, trata de dar solución, o al menos, respuesta, a requisitos muchas veces contradictorios entre sí.” (p.32)

En uno de sus artículos, se muestra un ejemplo para explicar la transmisión de calor. Así, Castro (2009) afirma que, al realizar un análisis energético de la envolvente de un edificio, generalmente se parte de una transmisión de calor unidimensional, como la que se muestra en la Fig. 3.1.1.

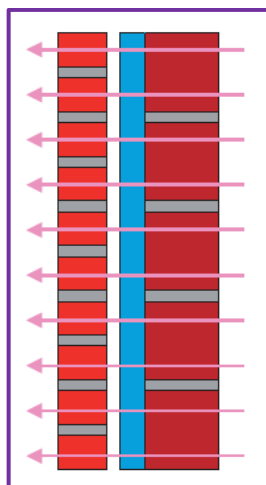


Fig. 3.1.1. Flujo de calor unidimensional en un cerramiento de extensión infinita. (Figura 1 de Castro, 2009).

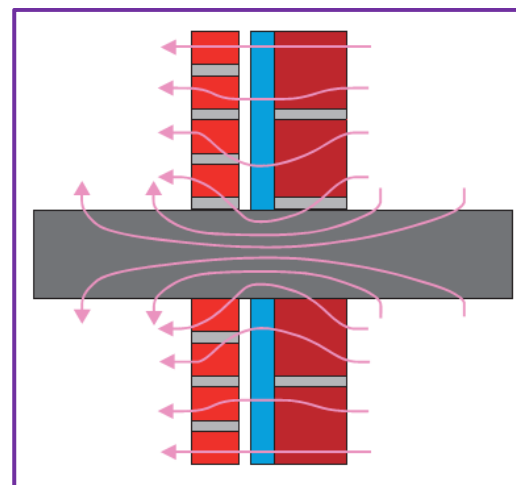


Fig. 3.1.2. Flujo de calor bidimensional en cerramiento con puente térmico. (Figura 2 de Castro, 2009)

Sin embargo, la geometría real del edificio, por su propia singularidad, hace que esa transmisión de calor no sea siempre unidimensional, ya que en ciertas áreas pueden existir discontinuidades geométricas y materiales, provocando que el flujo de calor sea bidimensional o tridimensional, como se muestra en la Fig. 3.1.2. En este segundo caso aumenta la densidad del flujo térmico y, surgen puntos débiles de transmisión térmica, con pérdidas de calor concentradas en ellos (Castro, 2009, p.32).



También explica, aunque de forma muy básica, cómo calcular las pérdidas de calor en los puentes térmicos, así como la obtención del factor de temperatura superficial interior.

Su trabajo concluye haciendo hincapié en el aislante térmico y en el riesgo de formación de condensaciones, asegurando así, que, para las pérdidas de calor, un espesor de aislante relativamente pequeño podría corregir el puente térmico restableciendo el flujo unidimensional, y restándole importancia a la posición del aislamiento térmico.

“Los parámetros clave aquí son la anchura de la discontinuidad y la conductividad térmica del material de la discontinuidad.” (Castro, 2009, p.34).

Pero en el caso de riesgo de condensaciones convierte la posición del aislamiento térmico en un factor crucial. Castro (2009), afirma que colocando el aislamiento térmico por el exterior del cerramiento se minimiza el puente térmico dado que el cerramiento en su conjunto estaría caliente, y que colocándolo por el interior del cerramiento ocurriría todo lo contrario, estando frío el cerramiento en su conjunto como se muestra en la Fig. 3.1.3) (p.35).

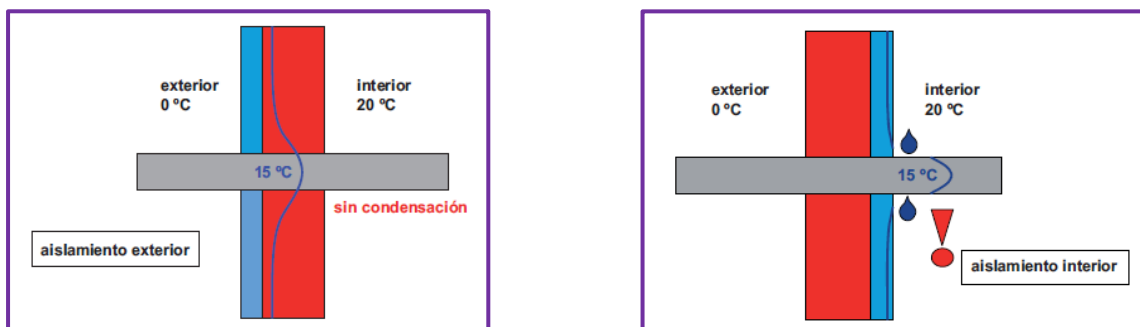


Fig. 3.1.3. Diferencias entre aislamiento por el exterior y por el interior (Figuras 6 y 7 de Castro, 2009)

“Cuanto más al exterior se instale el aislamiento térmico, mejor.” (Castro 2009, p.35).

El Catálogo de Puentes Térmicos de Ytong (2011), aporta también unos parámetros muy importantes para el cálculo de los puentes térmicos:

Los parámetros que definen los puentes térmicos son la transmitancia térmica lineal ( $\psi$  en W/mK) y el factor de temperatura superficial  $f_{Rsi}$ . Debido a la complejidad del flujo de calor en un puente térmico, estos parámetros solo pueden ser calculados de forma precisa mediante softwares informáticos especializados. (p.01)

Al tratarse de un catálogo de una marca comercial, todos los ejemplos de cálculo que se muestran están referidos a elementos de dicha marca para asegurar su comercialización. Por lo que, en materia de información, no aporta mucho más que las normativas referidas a los puentes térmicos.

En el Blog de ITE Arquitectos se encuentra un artículo referido a los puentes térmicos, en el que a modo informativo explica qué son y cómo se producen, así como las pérdidas energéticas que provocan. Según A.N.S., (2016):

Evaluar el porcentaje de energía que se pierde a través de los puentes térmicos es difícil, pero en construcciones convencionales anteriores a la entrada en vigor del CTE en el año 2006, podemos estimar que se aproxima a un 20%. Obviamente, este porcentaje de energía perdida se traduce en un incremento similar del gasto energético necesario para acondicionar una vivienda, motivo por el cual es importante prestar atención a los mismos para intentar minimizar sus efectos. (p.01)

En un blog de cálculo de puentes térmicos Serrano (2014) indica que “La presencia de puentes térmicos en cerramientos, produce pérdidas de energía, y por tanto influye en el valor de la demanda de calefacción y refrigeración del inmueble.” (Párrafo 07).

También ofrece un par de imágenes donde se observa la variación de temperatura entre un puente térmico sin revestir y sin aislar (Fig. 3.1.4), y el mismo revestido y aislado (Fig. 3.1.5). Estos ejemplos corresponden al puente térmico de un pilar embebido en la fachada del edificio.

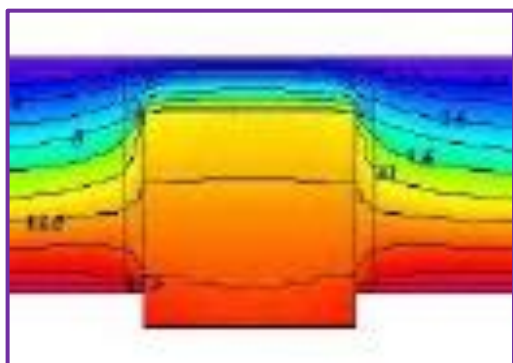


Fig. 3.1.4. Mapa de calor puente térmico sin revestir ni aislar (de Serrano, 2014)

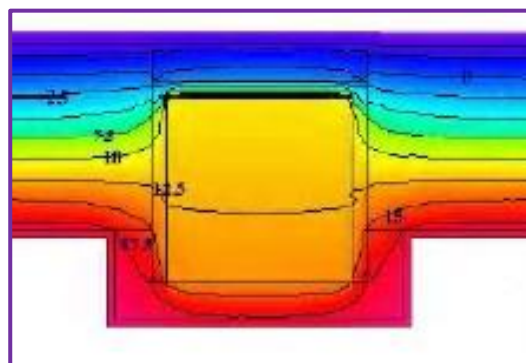


Fig. 3.1.5. Mapa de calor puente térmico revestido y aislado (de Serrano, 2014)

En el caso práctico propuesto por Sánchez (2016) afirma que, “la envolvente térmica de los edificios debe tener unas características que permitan limitar la demanda energética del edificio, siendo necesario, entre otros factores, el tratamiento de los puentes térmicos para reducir las pérdidas energéticas, así como evitar problemas higrotérmicos derivados de la presencia de los mismos.” (Párrafo 01).

Por ello Sánchez (2016) propone dos alternativas de mejora de la eficiencia energética de un edificio a través de la envolvente. La primera de ellas consiste en un aislamiento de la envolvente por la parte interior, y la segunda a base de un aislamiento

exterior. En la Fig. 3.1.6 se muestran los mapas de calor correspondiente a los ejemplos de cálculo realizados por Sánchez (2016).

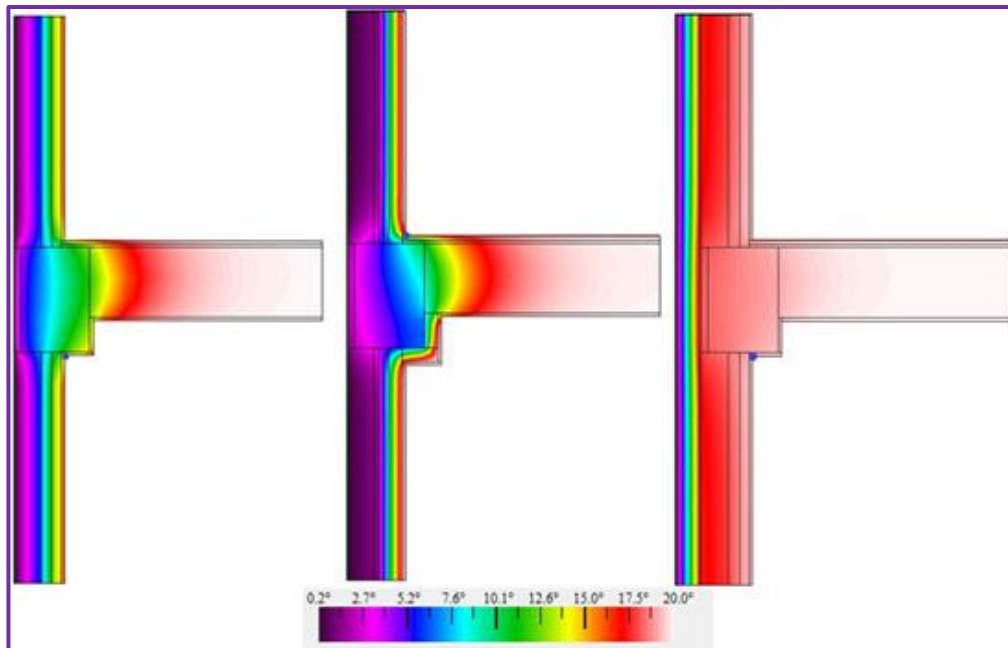


Fig. 3.1.6. Mapa de temperaturas. De izquierda a derecha: edificio existente, aislamiento interior y aislamiento exterior (Figura 2 de Sánchez, 2016)

Es obvio pensar que al realizar el aislamiento por el interior de la fachada se consiguen reducir las pérdidas de calor, pero en este caso no se reduce en la zona de frente de forjado al tratarse de un puente térmico que provoca una discontinuidad en la misma. La opción de aislamiento exterior es siempre más favorable a la hora de reducir también las pérdidas energéticas en los puentes térmicos ya que el aislamiento se mantiene continuo en toda la fachada.

Sánchez (2016) afirma en sus conclusiones lo expuesto anteriormente: “La eliminación o minoración de puentes térmicos en un edificio existente es más efectiva, generalmente, aislando exteriormente ya que posibilita la continuidad del aislamiento.” (Párrafo 26)

### **3.2.- LA PROBLEMÁTICA DE LOS PUENTES TÉRMICOS EN EL EXTRANJERO**

En otros países que cuentan con un suave clima mediterráneo como en España, los puentes térmicos también causan un aumento en el consumo de energía. Según un artículo publicado por Evola, Margani y Marletta (2011), “En Italia, las normativas vigentes para los nuevos edificios sólo recomiendan, pero no imponen la corrección de puente térmico, que por lo general tienen costos adicionales durante las fases de construcción y renovación” (p.01).

También realizan una definición de puente térmico, asegurando que son “elementos de construcción, donde un cambio significativo en la resistencia térmica se produce en comparación a la de la envoltura, debido a la presencia de materiales con una conductividad térmica más elevada” (Evola *et al*, 2011, p.01)

En otro artículo los autores italianos Asdrubali, Baldinelli y Bianchi (2012), proponen una metodología para realizar un análisis cuantitativo de algunos tipos de puentes térmicos mediante termografías infrarrojas.

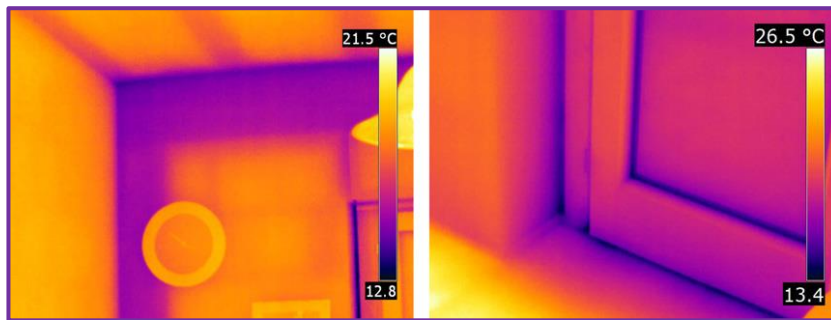


Fig. 3.2.1. Termografías de puentes térmicos (Fig.2 de Asdrubali *et al*, 2012)

“Siguiendo el procedimiento estándar, un análisis comparativo tiene que ser llevado a cabo con termografías de referencia que describen los principales defectos. El enfoque cualitativo de esta investigación conduce a la evaluación de las imperfecciones fácilmente reconocibles” (Asdrubali, *et al*, 2012, p.01).

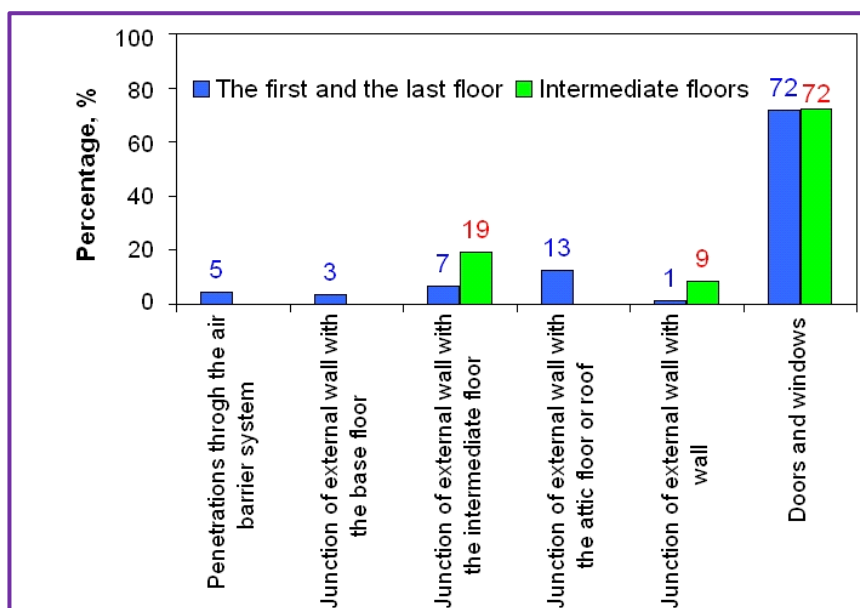
No solo España y otros países climáticamente similares han visto necesaria una renovación de las diferentes normativas para regular las pérdidas energéticas en la construcción, ya que en numerosos artículos internacionales se pueden encontrar similitudes en este sentido. Por ejemplo, en un artículo de Energy and Buildings realizado por Hua Ge, (2013) se comenta que en Canadá en los sectores residenciales alrededor de un 55% de la energía se utiliza para la calefacción del espacio.

Debido a las condiciones climatológicas en estos países, se hace necesario compensar ese gasto energético en calefacción con un diseño de la envoltura del edificio de buen rendimiento en materia de consumo energético y confort térmico. Por ello, en su artículo Hua Ge (2013) expone que:

Los puentes térmicos como partes de la envoltura del edificio tienen un efecto importante en el rendimiento térmico, es decir, aumento de pérdidas de calor en invierno y ganancias de calor en verano; al reducir la temperatura superficial interior, incrementa el riesgo de condensaciones y crecimiento de moho en invierno. Los estudios han demostrado que hasta 50% de la superficie de algunos edificios consta de flujos en tres dimensiones, y hasta un 30% de la energía de calefacción se puede perder a través de los puentes térmicos para edificios residenciales (p.01).

Al igual que en otros países de climas fríos como Finlandia, “la evaluación de los puentes térmicos es importante por muchas razones. Los puentes térmicos pueden conducir a condensación en la superficie, el crecimiento de moho” (Kalamees, s.f., p.02).

En este artículo del autor finlandés Kalamees (s.f.), ha realizado un análisis de la distribución de los lugares de fuga de aire y los puentes térmicos en estos países climatológicamente fríos, como se representa en la Graf. 3.1.1.1, determinando como elementos más sensibles las puertas y ventanas (p.07).



Graf. 3.2.1.1. Análisis de pérdidas de energía (Fig.5 de Kalamees, s.f.)

Fuera del continente europeo también le otorgan una gran importancia a la mejora de los puentes térmicos de las envolventes del edificio, como se expresa en el artículo chileno de Muñoz y Bobadilla (2012), donde reivindican que “La normativa chilena es débil en su precisión respecto a la manera de abordarlos.” (p.01)

Muñoz y Bobadilla (2012), comentan en su artículo que tanto la normativa actual en Chile, los programas de cálculo y los fabricantes, tienden a despreciar los puentes térmicos, considerándolos como valores por defecto, renegando así de un análisis constructivo para buscar una solución energética más favorable. Esto conlleva pérdidas de energía y peligro de aparición de condensaciones o moho. (p.02).

## **4.- MARCO CONCEPTUAL**

### **4.1.- LOS PUENTES TÉRMICOS**

#### **4.1.1.- Definición de puente térmico**

Existen numerosos artículos que tratan sobre los puentes térmicos y cada uno de ellos ofrece diferentes definiciones.

Se pueden definir los puentes térmicos como “aquellas zonas del cerramiento de un edificio en la que su capacidad de aislamiento térmico se ve disminuida significativamente” (A.N.S., 2016).

Otro modo de definirlos sería: “zonas de la envolvente térmica en la que se altera considerablemente la transmitancia térmica normal de los elementos constructivos.” (Catálogo de Puentes Térmicos, 2011).

Todas ellas, en esencia, definen el puente térmico de la misma manera. Si se pretende buscar una definición más exacta y oficial, es necesario consultar las diferentes normativas.

Según el CTE DB HE-1 (2013), un puente térmico es:

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 conlleven una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento. (p.24).

El mismo Código Técnico aporta también la definición de puente térmico lineal de la siguiente manera:

“Puente térmico con una sección transversal uniforme a lo largo de una dirección.”. (CTE DB HE-1, 2013).

Otra definición que se puede encontrar en normativas es la que figura en la EN ISO 10211 (2007):

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 de espesor en la fábrica.

- Una diferencia entre áreas internas o externas, tales como juntas entre paredes, suelos o techos. (p.10)

Al igual que el Código Técnico, la EN ISO 10211 ofrece también la definición de puente térmico lineal y la de puente térmico puntual:

Un puente térmico lineal es un “puente térmico con una sección transversal uniforme a lo largo de uno de los tres ejes ortogonales.” (EN ISO 10211, 2007).

Un puente térmico puntual es un “puente térmico localizado cuya influencia puede representarse mediante una transmitancia térmica puntual.” (EN ISO 10211, 2007).

#### 4.1.2.- Clasificación de los puentes térmicos

Una vez definido el concepto de puente térmico, es importante diferenciar cada uno de los tipos en según las diferentes posibilidades de clasificación que existan. Para ello hay que basarse en la organización que establece el Código Técnico de Edificación en su Documento Básico HE. Ahorro de energía, sección HE-1. (CTE DB-HE-1):

- a) Puentes térmicos integrados en los cerramientos:
  - Pilares integrados en los cerramientos de las fachadas.
  - Contorno de huecos y lucernarios.
  - Cajas de persianas.
  - Otros puentes térmicos integrados.
- b) Puentes térmicos formados por encuentro de cerramientos:
  - **Frentes de forjados en las fachadas.**
  - Uniones de cubiertas con fachadas.
  - Cubiertas con pretil.
  - Cubiertas sin pretil.
  - Uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno:
  - Unión de fachada con losa o solera.
  - Unión de fachada con muro enterrado o pantalla.
- c) Esquinas o encuentros de fachadas, dependiendo de la posición del ambiente exterior:



- Esquinas entrantes.
- Esquinas salientes.
- d) Encuentros de voladizos con fachadas.
- e) Encuentros de tabiquería interior con cerramientos exteriores.

#### 4.1.3.- Métodos para el cálculo de los puentes térmicos

Existen diferentes métodos de cálculos de los puentes térmicos, algunos más sencillos y otros más complicados. Se utilizan unos u otros dependiendo del nivel de modelización y de la información de la que se dispone.

En el Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB HE-3 se encuentran desarrollados cada uno de los métodos existentes:

➤ Métodos detallados.

- Con modelado tridimensional:

En este método se evalúa el efecto global de los puentes térmicos mediante simulación con modelos tridimensionales de cálculo numérico. Es un método que exige un coste de modelización alto y que proporciona poca información previa a la simulación.

- Con modelado bidimensional:

Analiza el efecto de los puentes térmicos utilizando la formulación de la transmisión térmica simplificada (Ec. 3), y supone la aplicabilidad del principio de superposición de flujos.

El método exige obtener la suma de los valores  $\psi$  y longitudes de cada puente térmico para obtener la componente bidimensional del flujo de calor, así como la suma del producto de las superficies y transmitancias térmicas de la envolvente, considerada con un comportamiento unidimensional.

Cuando no es posible calcular  $\psi$  de forma analítica se utilizan métodos numéricos y software específico de modelado bidimensional (como THERM) o se recurre los atlas térmicos de detalles tipo con valores precalculados. Los valores de  $L$  a los que se aplica cada  $\psi$  se obtienen por medición directa.

➤ Métodos simplificados.

Es posible realizar simplificaciones adicionales de la fórmula simplificada de la transmisión térmica (Ec. 3) para posibilitar el cálculo de la componente bidimensional de la transferencia de calor ( $\sum \psi_j L_j$ ) a partir de estimaciones de dicha componente.



- Con estimación de  $\psi$ :

Los valores de  $\psi_j$  se igualan para cada grupo de encuentros según las características generales del detalle, utilizando un valor representativo o tabulado para todos ellos, sin necesidad de realizar un cálculo individualizado

- Con estimación de  $L$ :

Las longitudes  $L_j$  de cada detalle se estiman a partir de las características generales del edificio (tipología, compacidad...) o medidas globales (superficie, n.º de plantas...), para evitar la medición directa.

- Con factor corrector de  $U$ :

La componente bidimensional en su totalidad se estima como una fracción de la componente unidimensional, de modo que:

$$\left(\sum \psi_j L_j\right) \Leftrightarrow \alpha \sum U_i A_i; \phi_T = 1 + \alpha \left(\sum U_i A_i\right) (\theta_i - \theta_e) \quad (1)$$

Siendo:

$\psi_j$  La transmitancia térmica lineal del encuentro  $j$  del edificio [ $W/mK$ ],

$L_j$  La longitud de ese encuentro [ $m$ ],

$\alpha$  Valor que varía en función de las características del edificio objeto y sus puentes térmicos o puede adoptar un valor constante.

$U_i$  La transmitancia térmica del elemento  $i$  de la envolvente [ $W/m^2K$ ],

$A_i$  El área de la envolvente [ $m^2$ ],

$\Phi_T$  El flujo de calor por conducción [ $W$ ],

$\theta_i - \theta_e$  La diferencia de temperaturas entre interior y exterior [ $K$ ].

- Otras simplificaciones para la consideración de puentes térmicos:

Cuando resulte conveniente usar un único valor de transmitancia térmica lineal para un tipo dado de puente térmico, por ejemplo (pilares integrados en fachada), compuesto por varios subtipos (pilares de distintas dimensiones o configuración), se puede utilizar el valor obtenido como media ponderada de las transmitancias térmicas lineales de sus subtipos, según la expresión:

$$\psi_j = \frac{\sum (\psi_{ji} L_{ji})}{\sum L_{ji}} \quad (2)$$

Siendo:

- $\psi_j$  La transmitancia térmica lineal resultante para la tipología de puente térmico  $j$  [ $W/mK$ ],
- $\psi_{ji}$  Cada uno de los distintos valores de transmitancia térmica lineal para la tipología de puente térmico [ $W/mK$ ],
- $L_{ji}$  Cada una de las sumas totales de las longitudes de los puentes térmicos de tipo  $i$  dentro de la tipología  $j$  [ $m$ ]

Una vez diferenciados los distintos métodos, es necesario conocer dos conceptos como el flujo de calor y la transmitancia térmica, que serán imprescindibles para el cálculo y a la mejor comprensión de los métodos tanto desarrollados como simplificados.

## 4.2.- LA TRANSMISIÓN DE CALOR

### 4.2.1.- Definición de transmisión de calor

“El efecto en el flujo de calor que producen los puentes térmicos en la envolvente térmica del edificio es la aparición de flujos de calor, bidimensionales o tridimensionales, en lugar de un comportamiento uniforme suponiendo simplemente un flujo unidimensional.” (DA DB HE-3. 2014).

### 4.2.2.- Cálculo de la transmisión de calor en puentes térmicos

$$\phi_T = \left( \sum U_i A_i + \sum \psi_j L_j \right) (\theta_i - \theta_e) = U_m A_T (\theta_i - \theta_e) \quad (3)$$

Siendo:

- $\Phi_T$  El flujo de calor por conducción [ $W$ ],
- $U_i$  La transmitancia térmica del elemento  $i$  de la envolvente [ $W/m^2K$ ],
- $A_i$  El área de la envolvente [ $m^2$ ],
- $\psi_j$  La transmitancia térmica lineal del encuentro  $j$  del edificio [ $W/mK$ ],
- $L_j$  La longitud de ese encuentro [ $m$ ],
- $U_m$  Transmitancia térmica media de la envolvente [ $W/m^2K$ ] incluido el efecto de los puentes térmicos,
- $A_T$  La superficie total de transmisión [ $m^2$ ],

$\theta_i - \theta_e$       La diferencia de temperaturas entre interior y exterior [K].

El primer término de la expresión  $[(\sum U_i A_i + \sum \psi_j L_j) (\theta_i - \theta_e)]$  expresa el flujo de calor como superposición del comportamiento unidimensional (U) y el bidimensional ( $\psi$ ) de la envolvente térmica. El segundo término,  $[U_m A_T (\theta_i - \theta_e)]$  asimila el comportamiento del conjunto a un flujo unidimensional equivalente, caracterizado por una transmitancia térmica media aplicable a la superficie del elemento estudiado. (DA DB HE-3, 2014, p.04)

### 4.3.- LA TRANSMITANCIA TÉRMICA

#### 4.3.1.- Definición de la transmitancia térmica

La transmitancia térmica (U) se mide en  $W/m^2K$  y es una característica específica de un elemento constructivo, como un muro a un techo, y depende de la conductividad térmica y la geometría de los materiales que lo componen, así como de la radiación térmica y convección en las superficies del elemento, concretamente es “la cantidad de energía que atraviesa, por unidad de tiempo, una unidad de superficie de un elemento constructivo de caras plano-paralelas cuando entre dichas caras hay un gradiente térmico unidad” (Eco-lógicos, 2012, párrafo 04).

El CTE DB HE-1 en su apéndice de terminología aporta la siguiente definición:

La transmitancia térmica es el “flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.” (CTE DB HE-1, 2013, p.24).

#### 4.3.2.- Cálculo de la transmitancia térmica

El Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB HE-1 diferencia varias formas de cálculo de la transmitancia térmica según la tipología:

- **Cerramientos en contacto con el aire exterior.**
- Cerramientos en contacto con el terreno.
- Particiones interiores en contacto con espacios no habitables.
- Huecos y lucernarios.

Ya que el tema que se aborda en este PFG son los puentes térmicos en los frentes de forjados, se estudiará solamente el cálculo de la transmitancia térmica en los cerramientos en contacto con el aire exterior.

La transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2K$ ) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

Siendo  $R_T$  la resistencia térmica total del componente constructivo [ $m^2K/W$ ]

La resistencia térmica total  $R_T$  de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas se calcula mediante la expresión:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (5)$$

Siendo

$R_1, R_2 \dots R_n$  Las resistencias térmicas de cada capa [ $m^2K/W$ ],

$R_{si}$  y  $R_{se}$  Las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente [ $m^2 \cdot K/W$ ].

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (6)$$

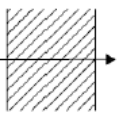
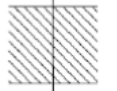
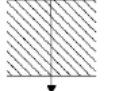
Siendo

$e$  El espesor de la capa [ $m$ ],

$\lambda$  La conductividad térmica de diseño del material que compone la capa [ $W/mK$ ]

La conductividad térmica de diseño de los materiales se puede obtener a partir de los valores térmicos declarados en la Tabla 3 de la norma UNE EN 10456:2012, o utilizando el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

Las resistencias térmicas superficiales interiores y exteriores se obtienen de la siguiente tabla (Tab. 4.3.2.1):

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

Tab. 4.3.2.1. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el exterior (Tabla 1 del DA DB HE-1)

Para la calcular la resistencia térmica de las cámaras de aire, se consulta la siguiente tabla (Tab. 4.3.2.2), obteniendo los datos en función del espesor (e), y la dirección del flujo de calor, extrapolando si fuera necesario.

e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Tab. 4.3.2.2. Resistencias térmicas de cámaras de aire (Tabla 2 del DA DB HE-1)

#### 4.3.3.- Definición de la transmitancia térmica lineal

La transmitancia térmica lineal ( $\psi$ ), está definida como el valor del flujo de calor en estado estacionario dividido por la longitud y por la diferencia de temperatura entre los ambientes situados a cada lado del puente térmico. Se expresa en las unidades W/mK y queda referenciada en la (Ec. 7).

El CTE DB HE-1 en su apéndice de terminología aporta la siguiente definición:

La transmitancia térmica lineal es el “flujo de calor, en régimen estacionario, para una longitud y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del puente térmico que se considera.” (CTE DB HE-1. 2013, p.26)

“La transmitancia térmica lineal ( $\psi$ ) describe la transferencia térmica adicional de un encuentro (un puente térmico lineal) en relación con la transferencia térmica unidimensional de referencia que se produce en los elementos adyacentes.” (DA DB HE-3. 2014, p.26)

Pueden diferenciarse dos tipos de transmitancias térmicas lineales, dependiendo de las longitudes usadas para su cálculo. Así, si se trabaja con longitudes exteriores, se obtiene la transmitancia térmica lineal exterior ( $\psi_e$ ), y de lo contrario, si se trabaja con longitudes interiores, se obtiene la transmitancia térmica lineal interior ( $\psi_i$ ).

#### 4.3.4.- Cálculo de la transmitancia térmica lineal

El DA DB HE-3 aporta un cálculo para la transmitancia térmica lineal para los puentes térmicos:

La transmitancia térmica lineal ( $\psi$ ) se expresa en W/mK, y viene dada por la expresión:

$$\psi = \frac{\Phi_{2D}}{(\theta_i - \theta_e)} - \sum (U_i L_i) \quad (7)$$

Siendo

$\Phi_{2D}$  El flujo de calor a través del elemento analizado mediante un modelo bidimensional [W],

$\theta_i - \theta_e$  La diferencia de temperaturas entre interior y exterior [K],

$U_i$  La transmitancia térmica del elemento adyacente  $i$  [W/m<sup>2</sup>K],

$L_i$  La longitud a la que se aplica el valor  $U_i$  [m<sup>2</sup>].

“La transmitancia térmica lineal permite resumir en un único parámetro el comportamiento complejo de un puente térmico, de forma similar a como  $U$  lo hace para un elemento con transmisión unidimensional.” (DA DB HE-3. 2014, p.04)

Al tratarse de un cálculo complejo, se suelen consultar unos atlas térmicos recogidos en el DA DB HE-3, que aportan unos valores aproximados de la transmitancia térmica lineal para las soluciones constructivas más comunes.

A continuación, se muestran los atlas térmicos referentes a las zonas de frentes de forjado, ya que es el tema que se aborda:

- Frentes de forjados con continuidad del aislamiento de fachada.



Fig. 4.3.4.1. Frentes de forjado con aislamiento continuo (Atlas térmicos del DA DB HE-3)

En este caso, cuando el aislamiento pasa por delante del frente de forjado prácticamente no se produce puente térmico, por lo que no es susceptible de analizar.

- Frentes de forjados sin continuidad del aislamiento de fachada:

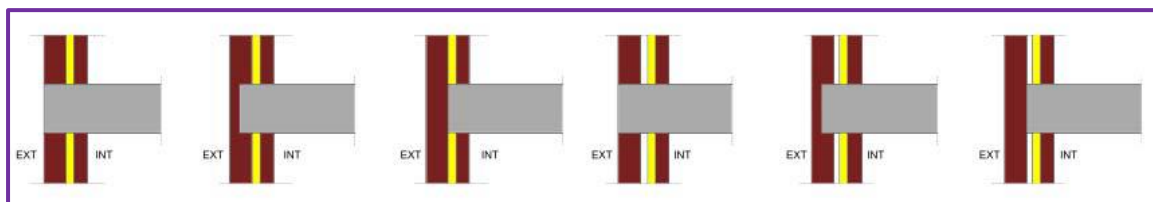


Fig. 4.3.4.2. Frentes de forjados con aislamiento discontinuo (Atlas térmicos del DA DB HE-3)

Al ser el hormigón armado un conductor relativamente bueno del calor se produce un puente térmico en el encuentro entre el forjado y el muro.

		$\Psi_e$ [W/mK]			$\Psi_i$ [W/mK]		
		Espesor forjado (cm)			Espesor forjado (cm)		
		25	30	35	25	30	35
$U_{muro}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,73	0,64	0,70	0,76	0,88	0,97	1,07
	0,44	0,67	0,74	0,81	0,81	0,91	0,99
	0,31	0,65	0,72	0,79	0,75	0,84	0,92
	0,27	0,64	0,71	0,78	0,72	0,81	0,89
	0,24	0,62	0,69	0,76	0,70	0,78	0,86

Tab. 4.3.4.1. Transmitancia térmica lineal en frentes de forjados (Atlas térmicos del DA DB HE-3)

Como se aprecia en la tabla (Tab. 4.3.3.1), dependiendo de la transmitancia térmica del muro ( $U$ ) y del espesor del forjado, se aportan unos datos establecidos de transmitancia térmica lineal ( $\psi$ ) para el puente térmico, diferenciando entre la transmitancia térmica lineal exterior ( $\psi_e$ ), y la transmitancia térmica lineal interior ( $\psi_i$ ).

“Estos valores se pueden emplear para el cálculo de la demanda energética mediante el método detallado con modelado bidimensional o mediante alguno de los métodos simplificados cuando no se disponga de valores más precisos.” (DA DB HE-3, 2014, p.13).

#### 4.4.- CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS

##### 4.4.1.- Riesgo de formación de condensaciones superficiales

“En régimen de invierno la temperatura superficial interior en la zona del puente térmico puede provocar condensaciones superficiales en caso de ser inferior al punto de rocío. Ello puede conllevar a la aparición de hongos con consecuencias directas sobre la salubridad y la higiene.” (Catálogo de Puentes Térmicos, 2011, p.01)

Según el Documento de Apoyo al Documento Básico HE. Ahorro de Energía. (DA DB HE-3):

Uno de los efectos de los puentes térmicos es el aumento del riesgo de formación de

condensaciones superficiales en la cara interior del elemento constructivo al existir puntos fríos en la zona afectada por el puente térmico como resultado del mayor flujo térmico en esas zonas.

Para analizar la posibilidad de condensaciones en los puntos fríos se utilizan los diagramas psicrométricos, que relacionan temperatura seca, humedad absoluta y humedad relativa.

La humedad absoluta es una magnitud que indica la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y se mide en gramos de agua por cada kilogramo de aire.

La cantidad de agua que puede contener el aire en forma de vapor tiene un límite (humedad de saturación), que depende de la temperatura y admite más vapor de agua a mayor temperatura.

La proporción entre la cantidad de agua en forma de vapor que contiene el aire con relación a la cantidad de saturación, expresada como porcentaje, es conocida como humedad relativa (HR). Así, una humedad relativa del 100% significa que el aire ha alcanzado el límite de humedad de saturación. Para una humedad absoluta dada, la temperatura a la que se alcanza el 100% de humedad relativa se conoce como temperatura de rocío.

Así, cuando la temperatura del aire desciende por debajo de la temperatura de rocío el exceso de humedad, aquella cantidad de agua que ya no puede permanecer en forma de vapor, condensa en forma líquida.

Las superficies frías de los puentes térmicos son lugares propicios para la aparición de condensaciones de este tipo.

#### **4.4.2.- Limitación del riesgo de formación de moho**

Según el Documento de Apoyo al Documento Básico HE. Ahorro de Energía. (DA DB HE-3):

Las condensaciones superficiales suponen un riesgo para la salud al propiciar la formación de moho, habiéndose comprobado que este riesgo se incrementa significativamente al mantenerse una humedad relativa superior al 80% en una superficie durante varios días.

Esta condición puede simplificarse y reformularse exigiendo que la temperatura de la superficie interior supere la temperatura superficial aceptable, la que implica una humedad relativa superior al 80% en la superficie interior del cerramiento.

El método de los factores de temperatura permite hacer esa comprobación. Este



consiste en comparar dos factores adimensionales: el factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ) y el factor de temperatura útil sobre la superficie interior ( $f_{Rsi,min}$ ).

El primero debe ser mayor que el segundo, para todos los meses del año:

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,min} \quad (8)$$

siendo:

$f_{Rsi}$  El factor de temperatura de la superficie interior.

$f_{Rsi,min}$  El factor de temperatura útil sobre la superficie interior.

Para calcular el factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ), se utiliza la siguiente fórmula:

$$f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)} \quad (9)$$

siendo:

$\theta_{si}$  Temperatura mínima en la superficie interior del cerramiento ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$\theta_i$  Temperatura del ambiente interior ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$\theta_e$  Temperatura del ambiente exterior ( $^{\circ}\text{C}$ ).

El Documento de Apoyo DA DB-HE-2 “Comprobación de la limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos” recoge en una tabla los valores de  $f_{Rsi,min}$  para las distintas zonas climáticas, dependiendo de la clase de higrometría del espacio.

Categoría del espacio	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Clase de higrometría 5	0,70	0,80	0,80	0,80	0,90	0,90
Clase de higrometría 4	0,56	0,66	0,66	0,69	0,75	0,78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0,42	0,50	0,52	0,56	0,61	0,64

Tab. 4.4.2.1. Factor de temperatura de la superficie interior mínima  $f_{Rsi,min}$  (Tabla 1 del DA DB-HE-2)

A efectos de comprobación de la limitación de condensaciones en los cerramientos, los espacios habitables se caracterizan por el exceso de humedad interior. La norma UNE-EN ISO 13788:2016 establecen las siguientes categorías:

- Espacios de clase de higrometría 5.

Espacios en los que se prevea una gran producción de humedad, tales como lavanderías y piscinas.

- Espacios de clase de higrometría 4.

Espacios en los que se prevea una alta producción de humedad, tales como cocinas industriales, restaurantes, pabellones deportivos, duchas colectivas u otros de uso similar.

- Espacios de clase de higrometría 3 o inferior.

Espacios en los que no se prevea una alta producción de humedad. Se incluyen en esta categoría todos los espacios de edificios residenciales y el resto de los espacios no indicados anteriormente.

Según el Código Técnico de Edificación en su Documento Básico HE. Ahorro de energía, sección HE-1. (CTE DB-HE-1)

Las condensaciones superficiales en los cerramientos y particiones interiores que componen la envolvente térmica del edificio se limitarán de forma que se evite la formación de mohos en su superficie interior. Para ello, en aquellas superficies interiores de los cerramientos que puedan absorber agua o susceptibles de degradarse, la humedad relativa media mensual en dicha superficie será inferior al 80%.

Las condensaciones intersticiales que se produzcan en los cerramientos y particiones interiores que componen la envolvente térmica del edificio serán tales que no produzcan una merma significativa en sus prestaciones térmicas o supongan un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil. Además, la máxima condensación acumulada en cada periodo anual no será superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

## **5.- MARCO NORMATIVO**

### **5.1.- CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. DOCUMENTO BÁSICO HE. AHORRO DE ENERGÍA. CTE DB HE**

Para lo que ocupa este Proyecto Fin de Grado, se analiza principalmente el Documento Básico de Ahorro de Energía, que tiene como finalidad establecer normas y métodos necesarios para satisfacer las exigencias básicas de ahorro de energía.

En este Documento Básico se establecen las reglas y los procedimientos para cumplir el requisito básico de ahorro de energía. Este DB cuenta con cinco secciones que se corresponden con las exigencias básicas, que van de la sección HE-1 a la HE-5, y también incluye la sección HE-0 que se relaciona con varias de las anteriores.

“La correcta aplicación de cada sección supone el cumplimiento de la exigencia básica correspondiente. La correcta aplicación del conjunto del DB supone que se satisface el requisito básico Ahorro de energía.” (CTE DB HE, p.02)

En el tema que ocupa este PFG, solamente serán utilizadas las secciones HE-0 y HE-1, referidas a consumo y demanda energética. Las demás secciones serán obviadas ya que se centran en las instalaciones, las cuales no se estudian en este proyecto.

#### **5.1.1.- Sección DB-HE-0. Limitación del consumo energético**

Esta sección caracteriza y cuantifica la exigencia básica del consumo energético de los edificios, limitándolo en función de la zona climática y del uso previsto para dicho edificio.

En el (CTE DB HE-0. Apartado 1) se indica el ámbito de aplicación de esta sección, así como las exclusiones:

- a) Edificios de nueva construcción y ampliaciones de edificios existentes.
- b) Edificaciones o partes de las mismas que, por sus características de utilización, estén abiertas de forma permanente y sean acondicionadas.
- a) Construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años.
- b) Edificios industriales, de la defensa y agrícolas o partes de los mismos, en la parte destinada a talleres, procesos industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales.
- c) Edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50 m<sup>2</sup>

### 5.1.2.- Sección DB-HE-1. Limitación de la demanda energética

Esta sección caracteriza y cuantifica la demanda energética de los edificios limitándola en función de la zona climática y el uso, estableciendo unas características de las envolventes térmicas y limitando la transferencia de calor entre las unidades de uso del edificio.

También limita los riesgos que se producen en el edificio debidos a las deficiencias de las prestaciones térmicas de los elementos de la envolvente, como por ejemplo las condensaciones o la aparición de moho.

En el (CTE DB HE-1. Apartado 1) se indica que será de aplicación en:

- a) Edificios de nueva construcción.
- b) Intervenciones en edificios existentes:
  - Ampliación: aquellas en las que se incrementa la superficie o el volumen construido.
  - Reforma: cualquier trabajo u obra en un edificio existente distinto del que se lleve a cabo para el exclusivo mantenimiento del edificio.
  - Cambio de uso.

En ese mismo apartado (CTE DB HE-1. Apartado 1) se indican las exclusiones del ámbito de aplicación, que serán:

- a) los edificios históricos protegidos cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística.
- b) construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años.
- c) Edificios industriales, de la defensa y agrícolas o partes de los mismos, en la parte destinada a talleres y procesos industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales.
- d) Edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50 m<sup>2</sup>.
- e) Las edificaciones o partes de las mismas que, por sus características de utilización, estén abiertas de forma permanente.
- f) Cambio del uso característico del edificio cuando este no suponga una modificación de su perfil de uso.

## **5.2.- CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE**

Este catálogo contiene un amplio abanico de materiales, productos y elementos constructivos con las características relacionadas con las exigencias básicas que se indican en las diferentes secciones del Código Técnico de la Edificación.

En él se encuentran los datos de conductividad de los diferentes materiales que se han utilizado en este Proyecto de Fin de Grado.

## **5.3.- DOCUMENTO DE APOYO AL DOCUMENTO BÁSICO HE. AHORRO DE ENERGÍA. DA DB HE-1. Cálculo de parámetros característicos de la envolvente**

“Este documento describe varios métodos simplificados que se pueden emplear para el cálculo de los parámetros característicos de los diferentes elementos que componen la envolvente térmica del edificio”. (DA DB HE-1, p.02)

En este documento de apoyo se muestran todos los parámetros característicos de la envolvente como la transmitancia térmica y las resistencias térmicas. Se explican los métodos de cálculo para estos parámetros.

## **5.4.- DOCUMENTO DE APOYO AL DOCUMENTO BÁSICO HE. AHORRO DE ENERGÍA. DA DB HE-2. Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos**

“Este documento describe algunos procedimientos que se pueden emplear para la comprobación de la limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en espacios habitables establecida en los Documentos Básicos DB-HE y DB-HS del CTE”. (DA DB HE-2, p.02)

En este documento de apoyo se encuentra la información referente a las condensaciones superficiales de los cerramientos. Expresa detalladamente los cálculos necesarios para comprobar la existencia o no de condensaciones superficiales, así como de la aparición de moho, mediante datos de temperaturas exteriores e interiores y apoyándose en factores de temperatura.

### **5.5.- DOCUMENTO DE APOYO AL DOCUMENTO BÁSICO HE. AHORRO DE ENERGÍA. DA DB HE-3. Puentes térmicos**

“El objeto de este documento es caracterizar el comportamiento higrotérmico de los puentes térmicos más comunes, así como describir los fundamentos y métodos de cálculo que permitan su evaluación en el cumplimiento de las exigencias definidas en el CTE”. (DA DB HE-3, p.02)

En este documento se recogen los fundamentos teóricos básicos para la mejor comprensión del efecto de los puentes térmicos en los edificios, así como las definiciones y clasificaciones de los puentes térmicos y como calcularlos.

Presenta también diferentes métodos de cálculo de los puentes térmicos que pueden utilizarse según el nivel de detalle que se desee obtener. Para realizar los cálculos, también define parámetros como la transmisión de calor y las transmitancias térmicas lineales, datos que son imprescindibles para el estudio de este Proyecto Fin de Grado.

También incluye unos Atlas de Puentes Térmicos al final del documento, que recoge la caracterización de los puentes térmicos para las soluciones constructivas más habituales. Estos Atlas han sido obtenidos por medio del software Kobra.

### **5.6.- REAL DECRETO 564/2017, de 2 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios**

El Real Decreto 235/2013 del 5 de abril, establece las condiciones técnicas y administrativas para realizar las certificaciones energéticas y la metodología de cálculo, así como la aprobación de la etiqueta de eficiencia energética. Según el Real Decreto 235/2013 (2013), están obligados a emitir un certificado energético:

- a) Edificios de nueva construcción.
- b) Edificios o partes de edificios existentes que se vendan o alquilen a un nuevo arrendatario, siempre que no dispongan de un certificado en vigor.
- c) Edificios o partes de edificios en los que una autoridad ocupe una superficie útil total superior a 250 m<sup>2</sup> y que sean frecuentados habitualmente por el público. (p.07)

Pero el 2 de junio se aprueba el Real decreto 564/2017, por el que se modifica el Real Decreto anterior en lo relativo a las exclusiones del ámbito de aplicación, y la disposición relativa a edificios de consumo de energía casi nulo.

La modificación referente a las exclusiones del ámbito de aplicación serían según el

Real Decreto 564/2017 (2017).

- a) Edificios protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o debido a su particular valor arquitectónico o histórico, siempre que cualquier actuación de mejora de la eficiencia energética alterase de manera inaceptable su carácter o aspecto, siendo la autoridad que dicta la protección oficial quien determine los elementos inalterables.
- b) Edificios o partes de edificios utilizados exclusivamente como lugares de culto y para actividades religiosas.
- c) Construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años.
- d) Edificios industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales, o partes de los mismos, de baja demanda energética. Aquellas zonas que no requieran garantizar unas condiciones térmicas de confort, como las destinadas a talleres y procesos industriales, se considerarán de baja demanda energética.
- e) Edificios o partes de edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50 m<sup>2</sup>.
- f) Edificios que se compren para reformas importantes o demolición.
- g) Edificios o partes de edificios existentes de viviendas, cuyo uso sea inferior a cuatro meses al año, o bien durante un tiempo limitado al año y con un consumo previsto de energía inferior al 25 por ciento de lo que resultaría de su utilización durante todo el año, siempre que así conste mediante declaración responsable del propietario de la vivienda.

#### **5.7.- UNE-EN ISO 10211:2007. Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Cálculos detallados**

En esta norma internacional se establecen las especificaciones para realizar un modelo geométrico de puentes térmicos tanto tridimensionales como bidimensionales, estos últimos son los que han sido estudiados en este Proyecto Fin de Grado.

También muestra formulas y cálculos números de flujo de calor, temperaturas superficiales para comprobar los riesgos de posibles condensaciones superficiales o aparición de moho, y de transmitancias térmicas lineales de los puentes térmicos.

**5.8.- UNE-EN ISO 10456:2012. Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño**

Al igual que en el Catálogo de elementos constructivos, en esta norma internacional se encuentran también las conductividades térmicas de los materiales que componen la envolvente del edificio.

“Esta norma internacional también proporciona datos de diseño en forma de tabla para su uso en cálculos de transferencia de calor y humedad, para materiales térmicamente homogéneos y productos utilizados en la construcción de edificios”. (UNE-EN ISO 10456:2012, p.7)

**5.9.- UNE-EN ISO 13788:2016. Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo**

En esta norma se establecen las distintas categorías de espacio en función de la zona climática, pudiendo diferenciarse varias clases de higrometrías en función de la previsión de producción de humedad en los distintos espacios.

También proporciona métodos simplificados de cálculo para determinar la temperatura superficial interior mínima y el riesgo de condensación intersticial.



## **6.- OBJETIVOS**

Los objetivos que se pretenden alcanzar con este Proyecto Fin de Grado se engloban en dos categorías: objetivos generales y objetivos específicos.

### **6.1.- OBJETIVOS GENERALES**

Realizar un estudio a nivel nacional e internacional acerca de los puentes térmicos y su influencia en los edificios, con una aproximación al debate científico sobre los métodos de cálculos de transmitancias térmicas de los puentes térmicos en los frentes de forjado.

Se pretende mediante el análisis de diferentes patentes publicadas, calcular el comportamiento energético global de un edificio al incorporar dichas innovaciones, comprobando pérdidas y ganancias energéticas, aplicado a un caso de estudio.

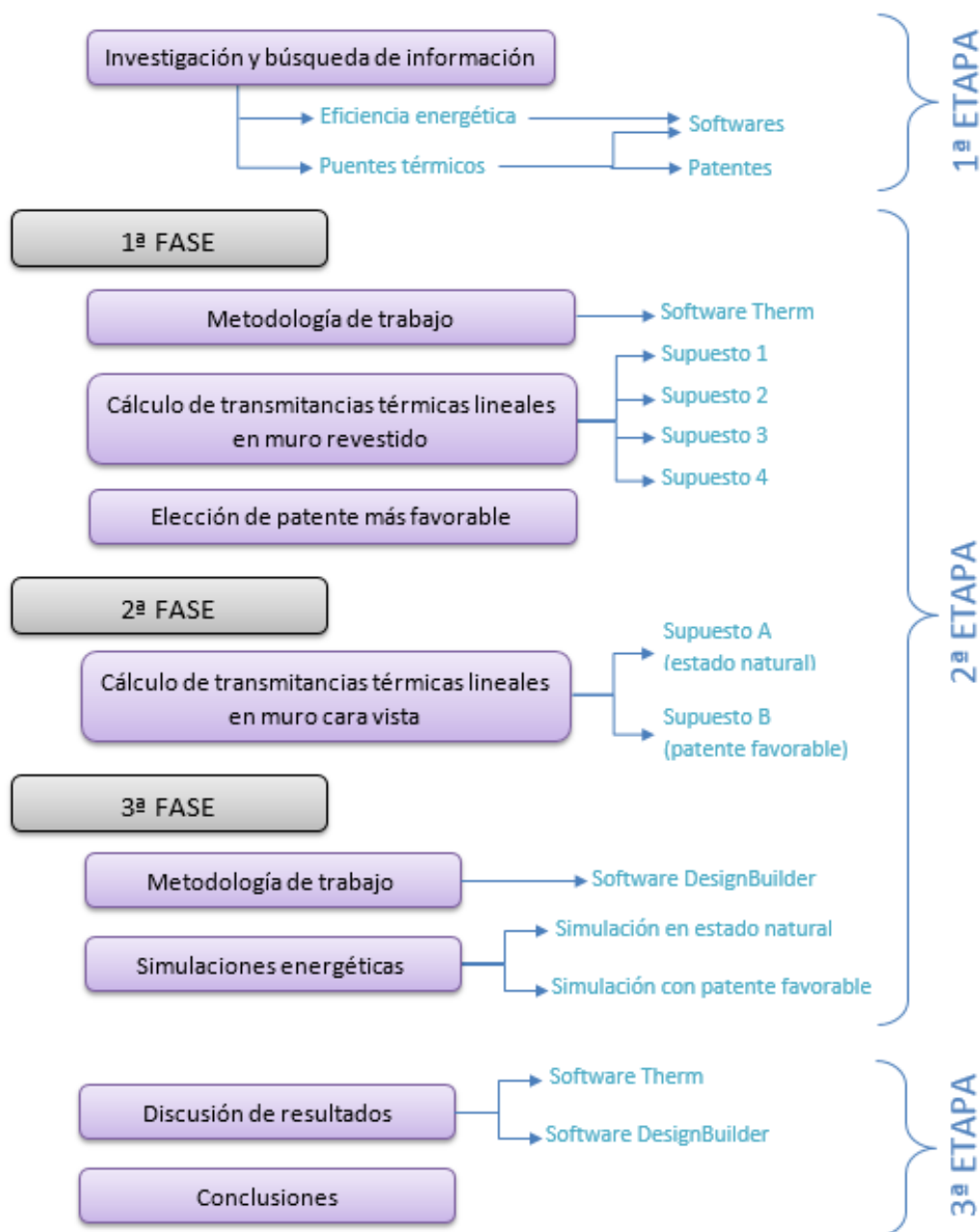
### **6.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Adquirir conocimiento de los puentes térmicos, sus variables, fórmulas, como se producen, como evitarlos y como se calculan las transmitancias térmicas lineales.
- Conocer los diferentes métodos que aplica la normativa actual española sobre puentes térmicos lineales.
- Conocer las diferentes patentes tanto nacionales e internacionales que tratan de abordar la problemática de los puentes térmicos en frente de forjados en los edificios.
- Analizar la aplicabilidad de las diferentes patentes para minimizar la pérdida energética de los puentes térmicos en los frentes de forjado
- A través de un caso de estudio, analizar un software en concreto de aplicabilidad a los puentes térmicos de los edificios.
- Conocer y analizar un software en concreto de simulación energética en el cálculo de los puentes térmicos lineales.
- Realizar una simulación energética de un edificio y conocer e interpretar los diferentes resultados que se arrojan.

## 7.- METODOLOGÍA

### 7.1.- INTRODUCCIÓN

En este apartado se conocerá la metodología utilizada en este Proyecto Fin de Grado, que se divide en tres etapas diferentes, una primera etapa teórica de investigación y búsqueda de información, una segunda etapa práctica de cálculo mediante softwares informáticos, que a su vez está dividida en tres fases de trabajo y una tercera etapa de discusión de resultados y conclusiones. A continuación, se muestra la metodología a modo de esquema.



Esq. 7.1.1. Esquema de la metodología seguida en el Proyecto Fin de Grado (Fuente propia)

### **7.1.1.- 1ª ETAPA. Investigación y búsqueda de información sobre los temas que constituyen el Proyecto**

A lo largo de esta etapa, se ha realizado una búsqueda de información sobre el tema a tratar, así como de diferentes patentes para realizar el estudio. También se ha investigado acerca de los diferentes softwares informáticos relacionados con el cálculo de puentes térmicos.

Para la búsqueda de información del tema de este Proyecto Fin de Grado, se han recopilado artículos, catálogos de revistas, normativas, y también se ha utilizado una tesina de una alumna tutorizada por el Dr. Juan José Moyano Campos como base sobre la que trabajar. En esta búsqueda se ha recabado información sobre los siguientes aspectos:

- Condensaciones superficiales
- Demanda energética
- Eficiencia energética
- Flujo de calor
- Puentes térmicos
- Transmitancias térmicas

Para poder realizar un estudio diferencial ha sido necesaria la búsqueda de patentes destinadas a mejorar los puentes térmicos. De las muchas patentes analizadas y estudiadas se han elegido tres para poder realizar el estudio comparativo, el resto fueron descartadas al no estar relacionadas con los frentes de forjado.

Finalmente, para realizar los cálculos necesarios para el estudio, se han investigado diferentes softwares relacionados con los puentes térmicos. Tras un análisis de los muchos que existen, se ha optado por utilizar dos de ellos.

Para toda esta etapa de investigación y búsqueda de información se hace necesario, hoy en día, el uso de la herramienta de Internet, donde se pueden encontrar varios buscadores específicos que sirven de ayuda, como pueden ser las bases de datos de:

- Catálogo de tesis doctorales publicadas en las universidades españolas.
- FAMA. Catálogo de la Biblioteca de la Universidad de Sevilla
- Google Académico.
- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)
- Informes de la construcción.

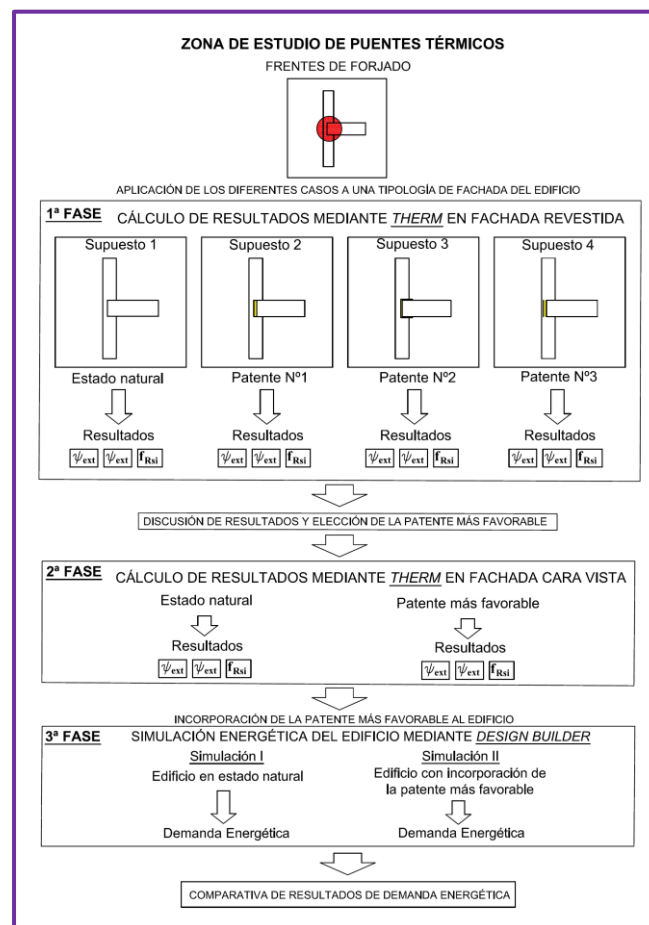
- INVENES
- Red de Bibliotecas Universitarias Españolas.
- WIPO (World Intellectual Property Organisation)

En las referencias bibliográficas y bibliografía consultada final se especifica detalladamente toda la bibliografía consultada y referenciada que ha sido utilizada para completar este proyecto.

### 7.1.2.- 2ª ETAPA. Metodología propia del proceso llevado a cabo en el estudio de los supuestos

En esta segunda etapa se ha realizado el estudio de los diferentes supuestos mediante softwares informáticos y cálculos manuales, para finalmente obtener unos resultados. Esta etapa se ha dividido en tres fases diferentes para realizar esclarecer el estudio.

A continuación, se muestra a modo de esquema (Esq. 7.1.2) la metodología detallada seguida en esta segunda etapa.

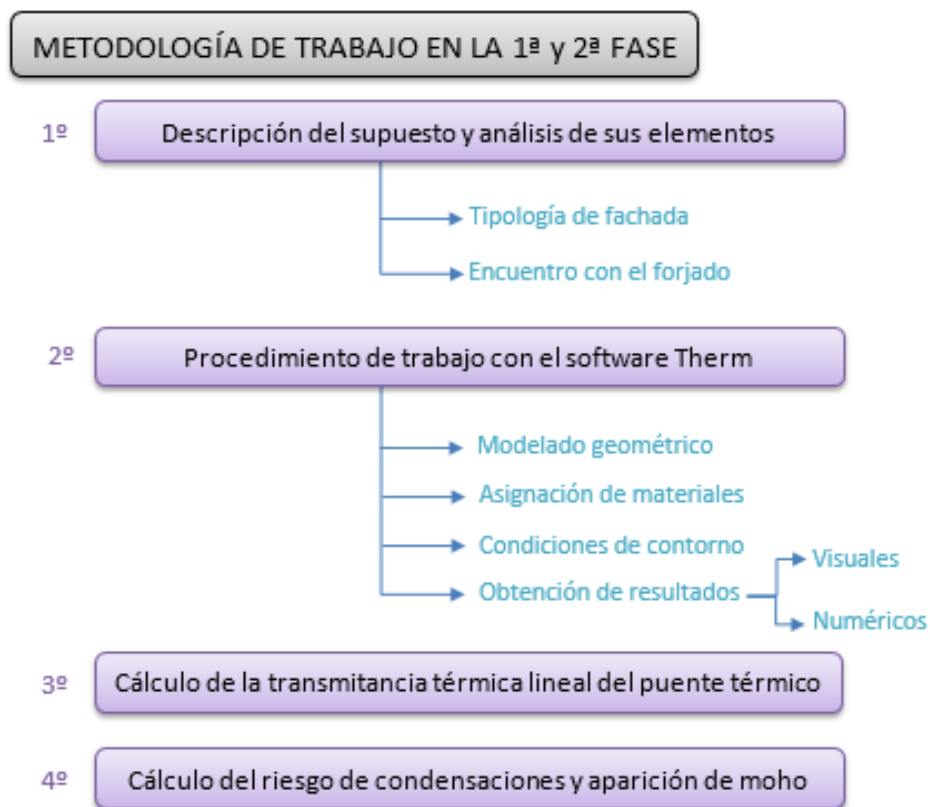


Esq. 7.1.2. Metodología por seguir en la segunda etapa (Fuente propia)

En la primera fase se han realizado los cálculos de las transmitancias térmicas lineales de los puentes térmicos de los cuatro supuestos diferentes mediante el software THERM, obteniendo unos resultados que permitirán elegir la patente más favorable para el cálculo de la demanda energética. Para posteriormente poder comparar estos cuatro supuestos, todos los cálculos se han realizado en base a la fachada de muro revestido.

El primero de los cuatro supuestos se refiere a un puente térmico en frente de forjado en la fachada de muro revestido del edificio en su estado natural, los otros tres supuestos corresponderán a la misma fachada con incorporaciones de distintas patentes en el frente de forjado.

Se ha propuesto también una metodología a seguir en cada uno de los supuestos, tanto de la primera como de la segunda fase, así como el procedimiento de trabajo con el software THERM. A continuación, se muestra dicha metodología a modo de esquema (Esq.7.1.3) y posteriormente se explicará detalladamente.



Esq. 7.1.3. Esquema de la metodología de trabajo en los supuestos. Software THERM (Fuente propia)

Esta metodología de trabajo consta de una primera parte de descripción del supuesto a estudiar y un análisis de todos sus elementos. Posteriormente una segunda parte donde se muestra el procedimiento de trabajo del propio software THERM, que consiste primero la realización del modelo geométrico sobre el que se va a trabajar en el software, seguido de la asignación de materiales y de las condiciones de contorno para poder realizar los cálculos, y se finaliza con la obtención de los distintos tipos de resultados que

ofrece el software THERM. La tercera parte de esta metodología se centra en el cálculo de la transmitancia térmica lineal del puente térmico, así como de todos los valores necesarios para su obtención. Y finalmente una cuarta parte de cálculo del riesgo de condensaciones superficiales y aparición de moho.

Para finalizar la primera fase se elegirán los supuestos que se simularán en la tercera fase del estudio para realizar una comparativa energética. Estos dos supuestos serán: el referente al puente térmico en frente de forjado en estado natural, y el que incorpore la patente más favorable.

En la primera fase, al pretender realizar una comparativa de todos los supuestos a nivel de encuentro, solo se han realizado los cálculos en función a una tipología de fachada en concreto (muro revestido). Para poder realizar una simulación energética a nivel del edificio completo mediante el software DesignBuilder, es necesario obtener también los cálculos referentes a la otra tipología de fachada (muro a cara vista), por lo que se hace necesaria una segunda fase donde se realicen los cálculos de transmitancia térmica lineal (de los supuestos elegidos para simular), referente a dicha tipología.

En la tercera fase se realizarán dos simulaciones energéticas mediante el software DesignBuilder, una primera simulación del edificio en su estado natural, y una segunda simulación del edificio con la incorporación de la patente elegida. Finalmente se obtendrán los resultados de demanda energética.

Se ha propuesto también una metodología de trabajo para el modelado del edificio con el software DesignBuilder como se muestra en el Esq.7.1.4.



Esq. 7.1.4. Metodología de modelado. Software DesignBuilder (Fuente propia)

Esta metodología de modelado consta de una primera parte donde se elegirá la situación del edificio para después importar unas plantillas que servirán como guía base del modelado. Posteriormente se crearán los diferentes bloques, y dentro de ellos se dibujarán los patios, particiones y aberturas. Finalmente, se le asignarán los materiales a cada elemento del edificio modelado.

#### **7.1.3.- 3ª ETAPA. Discusión de los resultados y conclusiones**

En esta etapa se ha realizado una discusión individual de los resultados obtenidos mediante el software THERM de cada supuesto, para finalmente hacer una comparativa de todos ellos utilizando gráficas. Posteriormente se ha realizado el mismo análisis y comparativa con los resultados obtenidos mediante el software DesignBuilder. Finalmente, con una vista general de la totalidad de los resultados obtenidos por ambos softwares, se redactarán las conclusiones.

## 7.2.- EDIFICIO OBJETO DE ESTUDIO

### 7.2.1.- Ubicación

El edificio en cuestión se encuentra en España, en la provincia de Sevilla, capital de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Sevilla se encuentra a unos 10 m sobre el nivel del mar, tiene un clima mediterráneo con influencias oceánicas, que se caracteriza por inviernos suaves y veranos calurosos. La temperatura media anual es de alrededor de 18.5 °C, una de las más calientes de Europa. Según la Tab. 7.2.1.1, sacada del Apéndice D del CTE DB-HE-1, Sevilla se encuentra en la zona climática B4.

Segovia	D2
Sevilla	B4
Soria	E1

Tab. 7.2.1.1. Zonas climáticas (Tabla D.1. del Apéndice D del CTE DB-HE-1)

A continuación, se presentan los valores climatológicos normales medios durante todo el año en la ciudad, reportados por la estación meteorológica del aeropuerto AEMET San Pablo de Sevilla.

Periodo: 1981-2010 - Altitud (m): 34 Latitud: 37° 25' 0" N - Longitud: 5° 52' 45" O - Posición: Ver localización													
<div>Exportar a csv</div>													
Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I	
Enero	10.9	16.0	5.7	66	71	6.1	0.0	0.4	2.7	1.8	11.2	183	
Febrero	12.5	18.1	7.0	50	67	5.8	0.0	0.5	3.0	0.7	7.9	189	
Marzo	15.6	21.9	9.2	36	59	4.3	0.0	0.6	2.3	0.0	8.6	220	
Abril	17.3	23.4	11.1	54	57	6.1	0.0	1.4	1.4	0.0	6.0	238	
Mayo	20.7	27.2	14.2	30	53	3.7	0.0	1.2	0.7	0.0	6.9	293	
Junio	25.1	32.2	18.0	10	48	1.3	0.0	0.7	0.2	0.0	12.9	317	
Julio	28.2	36.0	20.3	2	44	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	21.1	354	
Agosto	27.9	35.5	20.4	5	48	0.5	0.0	0.4	0.2	0.0	18.7	328	
Septiembre	25.0	31.7	18.2	27	54	2.4	0.0	0.8	0.5	0.0	10.3	244	
Octubre	20.2	26.0	14.4	68	62	6.1	0.0	1.2	2.4	0.0	7.8	216	
Noviembre	15.1	20.2	10.0	91	70	6.4	0.0	0.9	2.1	0.0	8.0	181	
Diciembre	11.9	16.6	7.3	99	74	7.5	0.0	0.8	3.0	0.5	8.4	154	
Año	19.2	25.4	13.0	539	59	50.5	0.0	9.1	18.7	3.2	129.0	-	

Tab. 7.2.1.2. Valores climatológicos normales en Sevilla. (Recuperado de <http://www.aemet.es>)

El edificio está situado en el barrio sevillano de Bellavista, situado a unos 4 km al sur de Sevilla, en la calle Andalucía, 5. Es un lugar actualmente en expansión que cuenta con unos 40.000 habitantes, y en los últimos años ha adoptado nuevas infraestructuras que lo convierte en un barrio muy completo y bien comunicado.



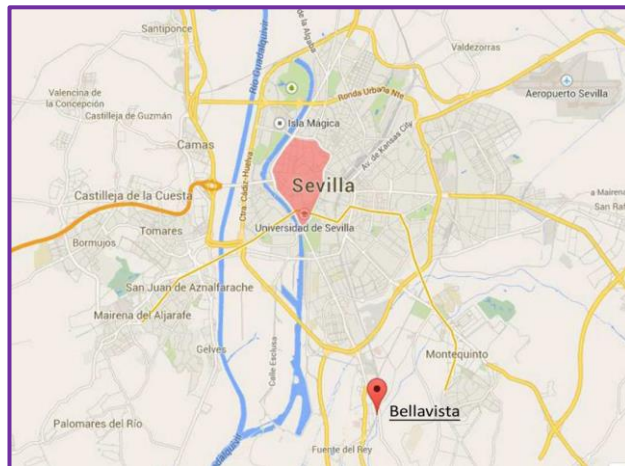


Fig. 7.2.1.1. Localización del barrio Bellavista dentro de la ciudad de Sevilla. (Fig.4.2 de Facchini, 2014)

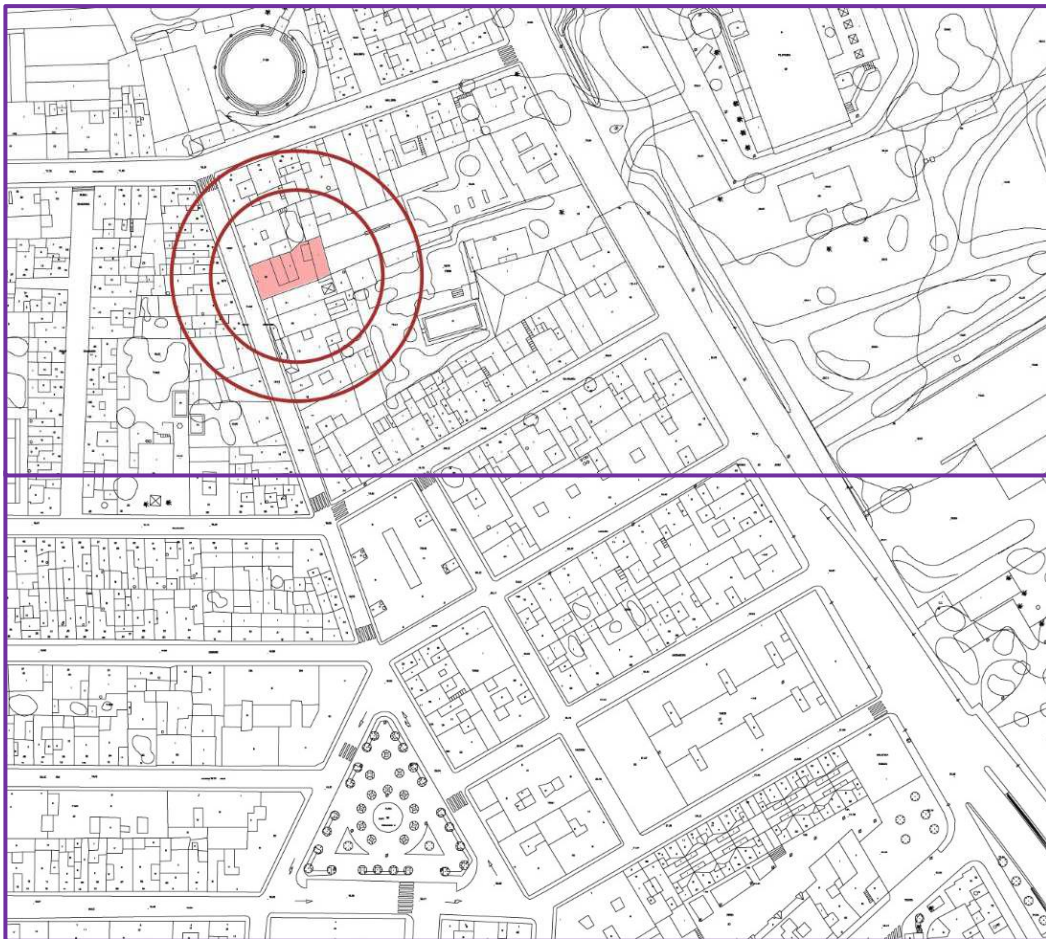


Fig. 7.2.1.2. Ubicación de la propiedad dentro del distrito de Bellavista. (Fig.4.3 de Facchini, 2014)

### 7.2.2.- Tipología del edificio

El edificio objeto de estudio ha sido obtenido del T.F.G. de la alumna tutorizada por el Dr. Juan José Moyano Campos de la tesina que lleva por título “ANALISI TERMOGRAFICHE PER LA VALUTAZIONE DELLE DISPERSIONI E STUDIO DEL COMPORTAMENTO ENERGETICO IN CLIMA MEDITERRANEO. UN CASO DI STUDIO A SIVIGLIA” (Facchini, 2014), donde se aporta gran información del edificio junto con unas termografías útiles en el estudio del puente térmico. El edificio en cuestión es de uso residencial, completamente reconstruido en 2008 después de la demolición de la Anterior propiedad.

El edificio cuenta con una altura de tres plantas sobre rasante y el castillete. Las paredes laterales, norte y sur, no muestran ninguna apertura y también actúan como medianeras con las edificaciones colindantes. La fachada principal de la calle Andalucía está orientada al oeste. Fue construido por la Constructora Ducamager S.L. bajo la dirección facultativa del arquitecto Juan Carlos Rodríguez Velasco y Juan José Moyano Campos en 2008. Gracias a los datos del proyecto y la dirección de ejecución se conoce exhaustivamente los componentes constructivos del edificio.



Fig. 7.2.2.1. Fachada oeste (Fig.4.4.4.5 de Facchini, 2014)



Fig. 7.2.2.2. Fachada sur y oeste (Fig.4.6.4.7 de Facchini, 2014)

También existen dos patios, uno interior que permite la apertura de ventanas en los entornos más interiores; y otro exterior en la fachada este, solo disponible para las viviendas en planta baja

En el edificio se encuentran 6 viviendas: dos en planta baja, dos en la primera planta y dos en la segunda planta.

La cubierta es plana y la terraza formada sobre la misma está disponible para todos los usuarios. En la cubierta se encuentra también la zona de castillete.

La envolvente del edificio está compuesta por dos tipologías de fachadas diferentes,

como se muestra en la Fig. 7.2.2.3

- Fachada formada por muro revestido de 25 cm de espesor.
- Fachada formada por muro a cara vista de 25 cm de espesor.

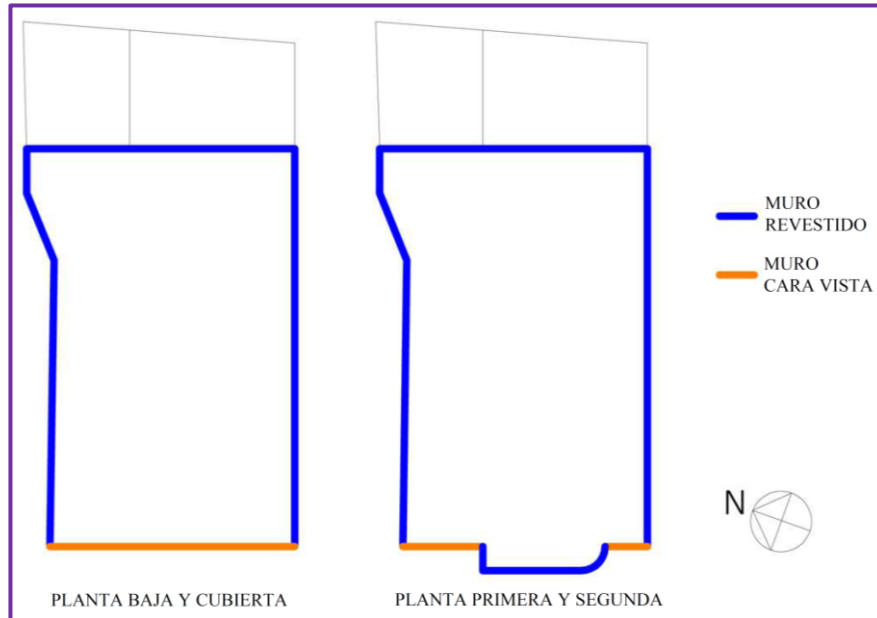


Fig. 7.2.2.3. Tipologías de fachada (Fig.4.66 de Facchini, 2014)

A continuación, se analizan con detalle cada una de ellas:

- Fachada formada por muro revestido de 25 cm de espesor.

Esta tipología se encuentra en las fachadas este, norte y sur; en la fachada oeste solamente en la zona de salientes referida a los balcones, como se aprecia en la Fig. 7.2.2.3.

El muro está compuesto por un tabique de ladrillo con enlucido de yeso por el interior, cámara de aire, aislamiento a base de poliuretano expandido, capa de mortero de cemento y un muro de medio pie de ladrillo perforado con un enlucido de mortero monocapa por el exterior.

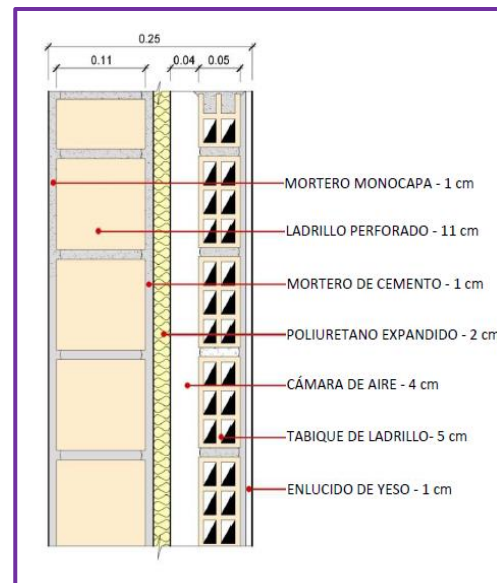


Fig. 7.2.2.4. Detalle constructivo de muro revestido  
(Fig.4.67 de Facchini, 2014)

- Fachada formada por muro a cara vista de 25 cm de espesor.

Esta tipología sólo se encuentra en parte de la fachada oeste, como puede apreciarse en la Fig. 7.2.2.3.

El muro es prácticamente idéntico al anterior, diferenciándose únicamente en el revestimiento exterior. Está compuesto por un tabique de ladrillo con enlucido de yeso por el interior, cámara de aire, aislamiento a base de poliuretano expandido, capa de mortero de cemento y un muro de medio pie de ladrillo cara vista.

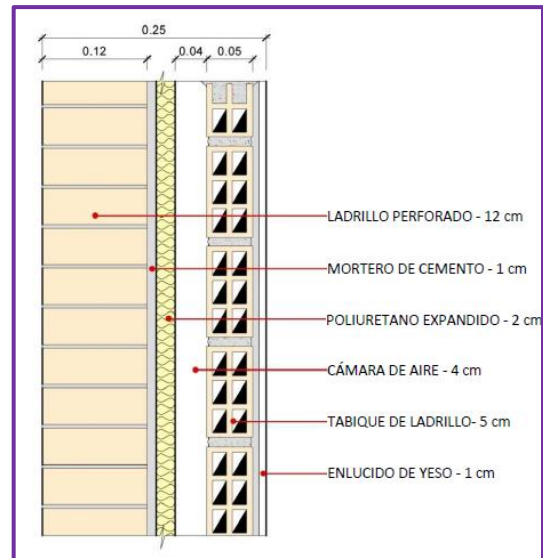


Fig. 7.2.2.5. Detalle constructivo de muro cara vista  
(Fig.4.69 de Facchini, 2014)



### 7.2.3.- Planimetría

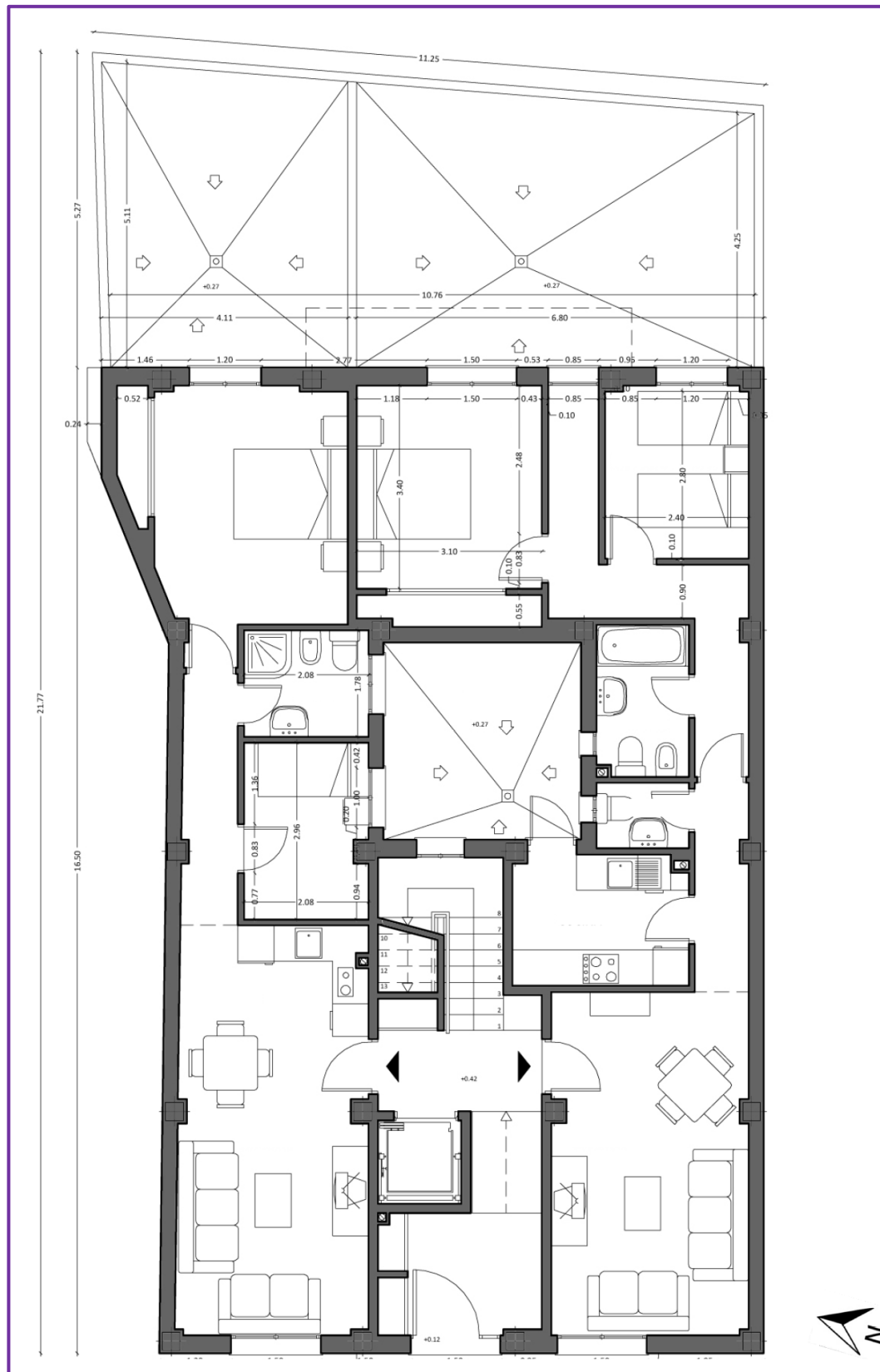


Fig. 7.2.3.1. Plano de planta baja (Fig.4.8 de Facchini, 2014)

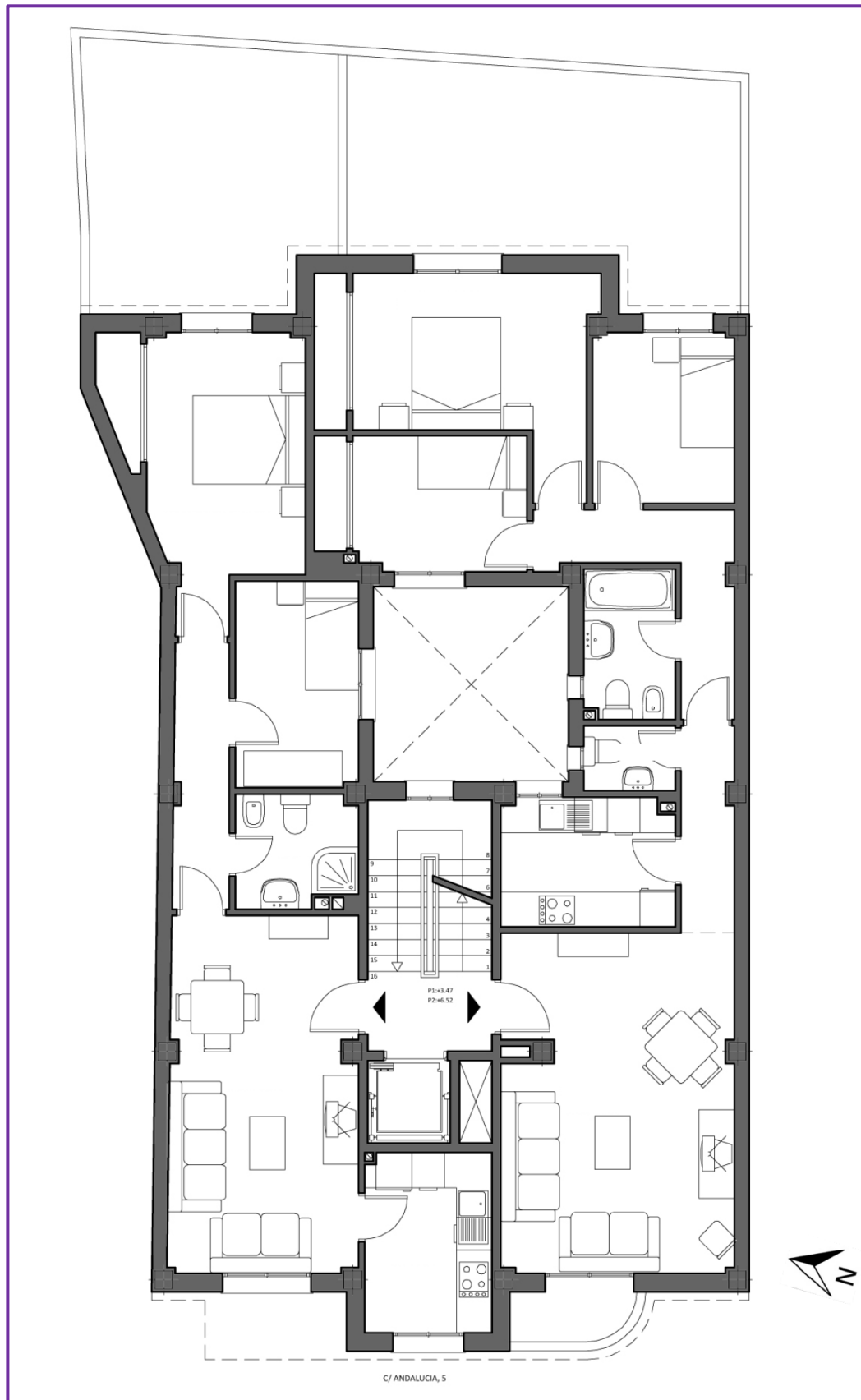


Fig. 7.2.3.2. Plano de planta primera y segunda (Fig.4.9 de Facchini, 2014)

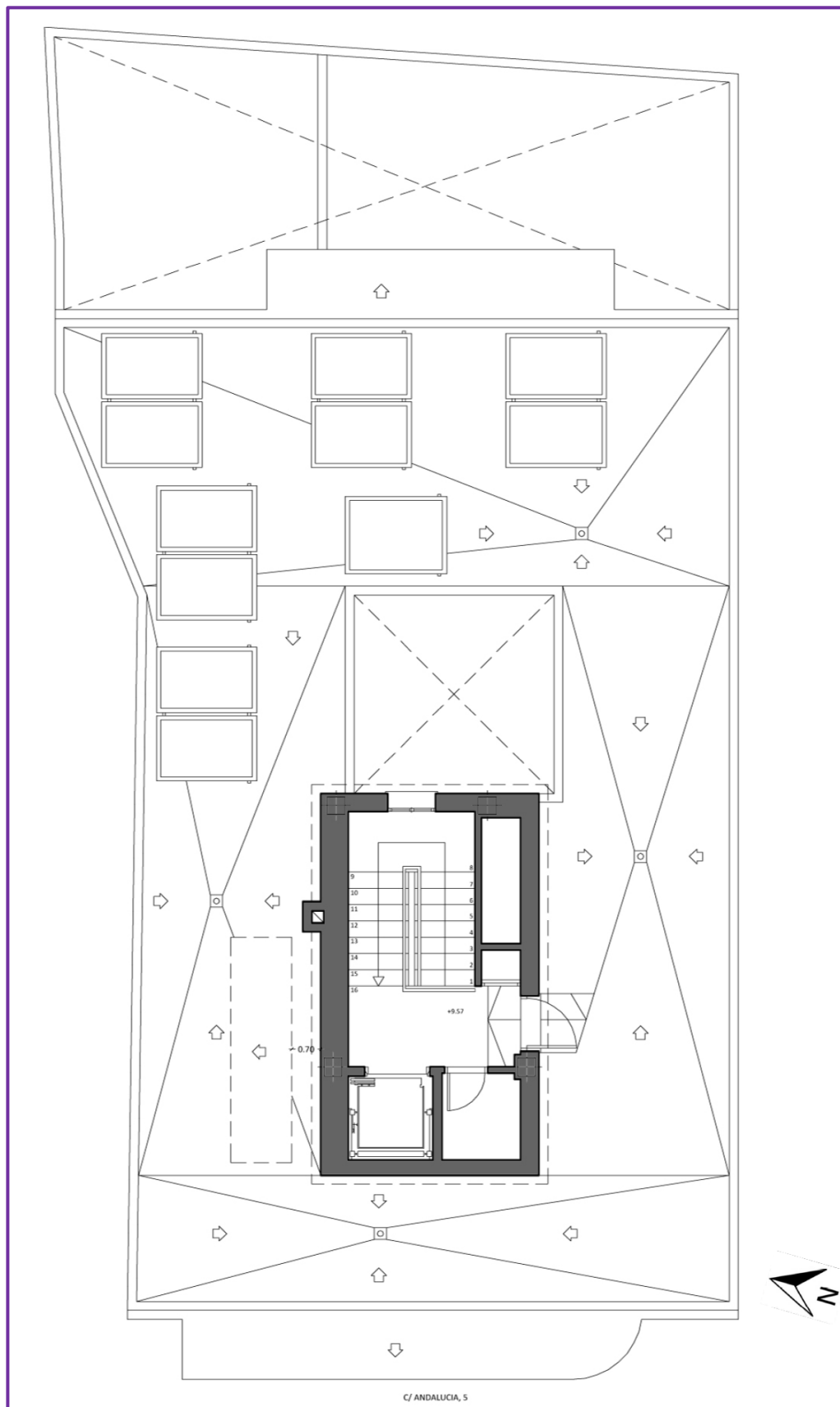


Fig. 7.2.3.3. Plano de cubierta y castillete (Fig.4.11 de Facchini, 2014)



Fig. 7.2.3.4. Alzado de la fachada principal (Fig.4.12 de Facchini, 2014)

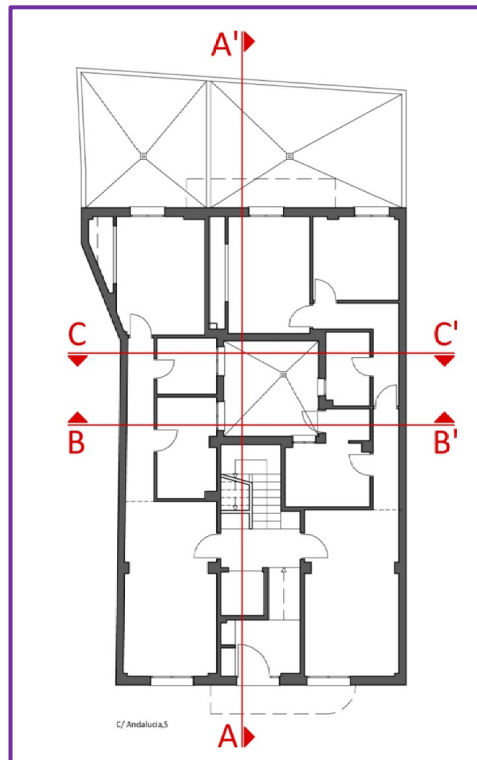


Fig. 7.2.3.5. Indicación de las secciones (Fig.4.13 de Facchini, 2014)





Fig. 7.2.3.6. Sección A-A' (Fig.4.14 de Facchini, 2014)



Fig. 7.2.3.7. Sección B-B' y Sección C-C' (Fig. 4.15 y Fig. 4.16 de Facchini, 2014)

### 7.2.4.- Termografías

A continuación, se muestran varias termografías realizadas al edificio, en donde se aprecia la variación de temperatura de las fachadas en las zonas de frentes de forjado.

En las siguientes figuras se engloban además de la propia termografía, una escala de colores de temperaturas, y la foto real de la zona.

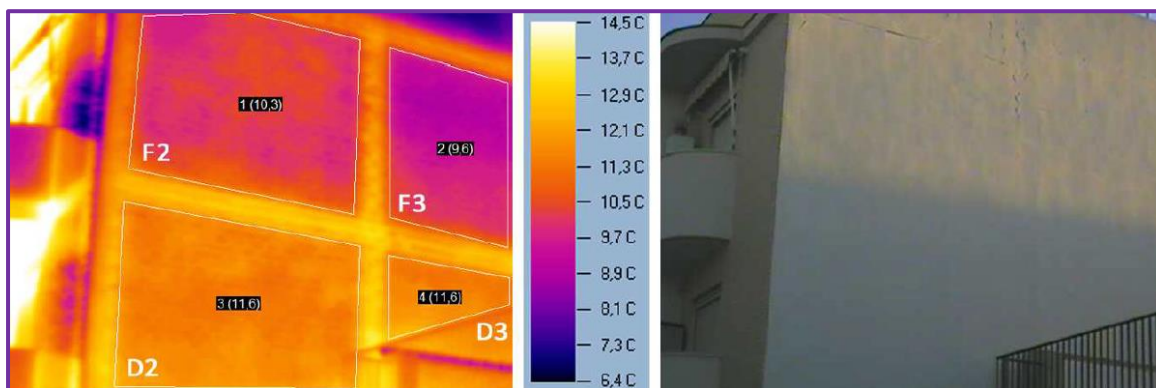


Fig. 7.2.4.1. Termografía de la fachada sur (Fig. 4.30 de Facchini, 2014)

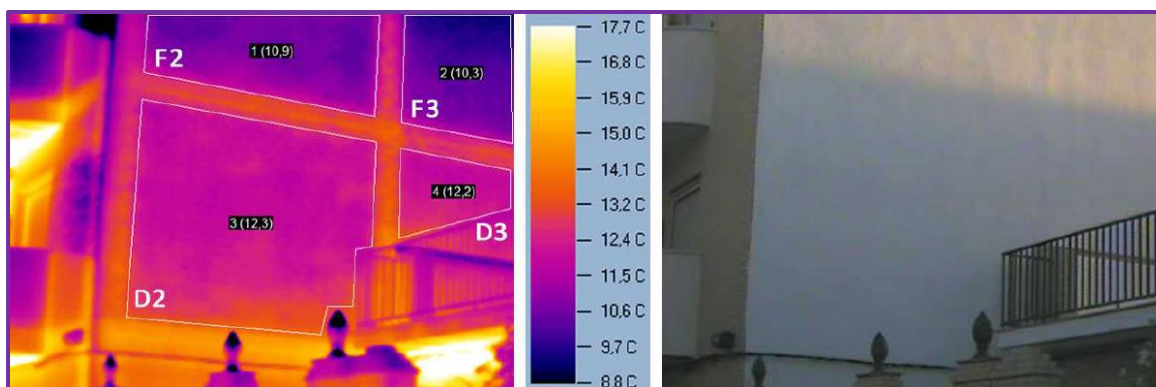


Fig. 7.2.4.2. Termografía de la fachada sur (Fig. 4.31 de Facchini, 2014)

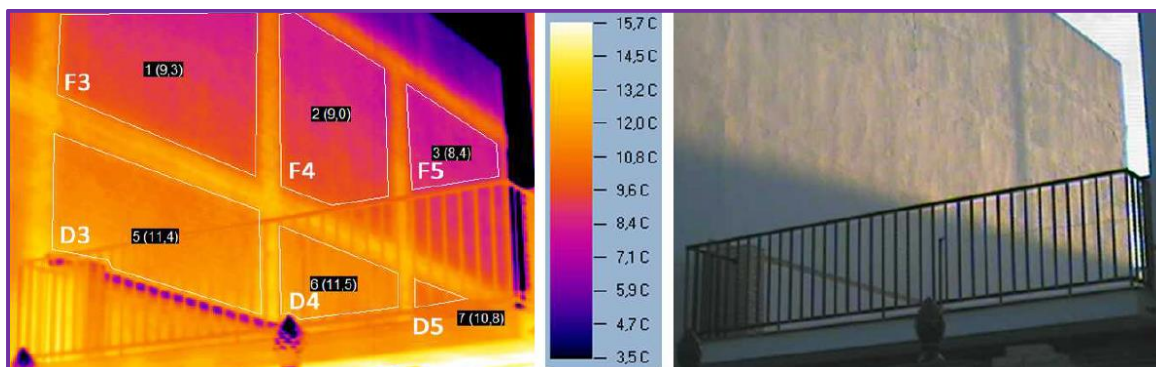


Fig. 7.2.4.3. Termografía de la fachada sur (Fig. 4.32 de Facchini, 2014)

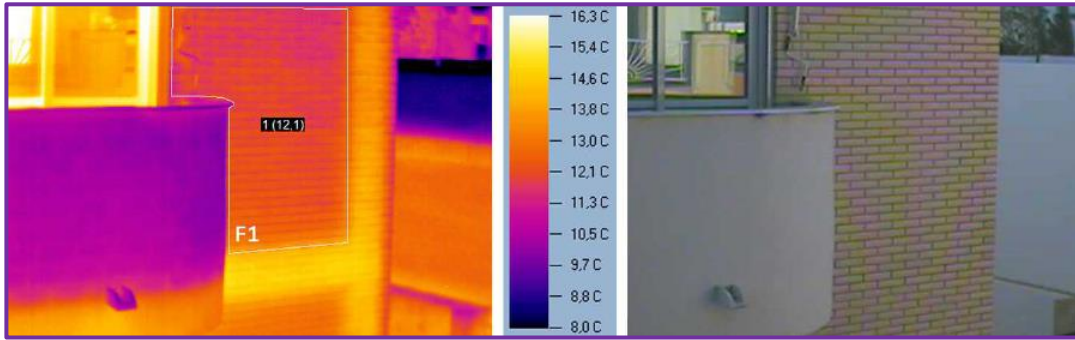


Fig. 7.2.4.4. Termografía de la fachada oeste (Fig. 4.57 de Facchini, 2014)

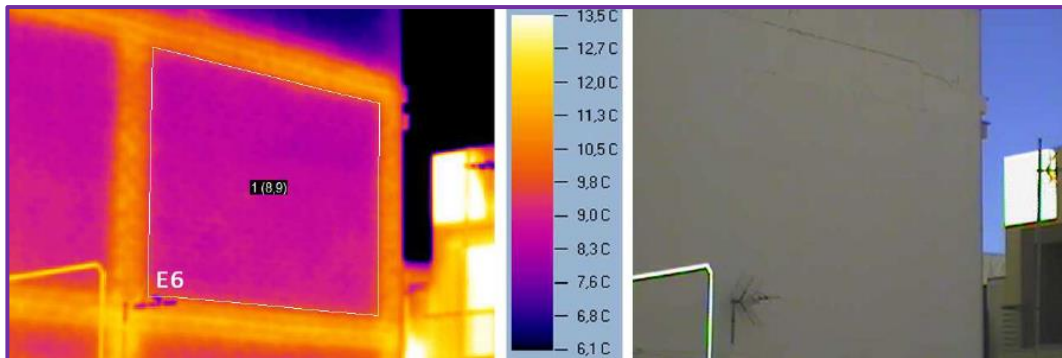


Fig. 7.2.4.5. Termografía de la fachada norte (Fig. 4.64 de Facchini, 2014)

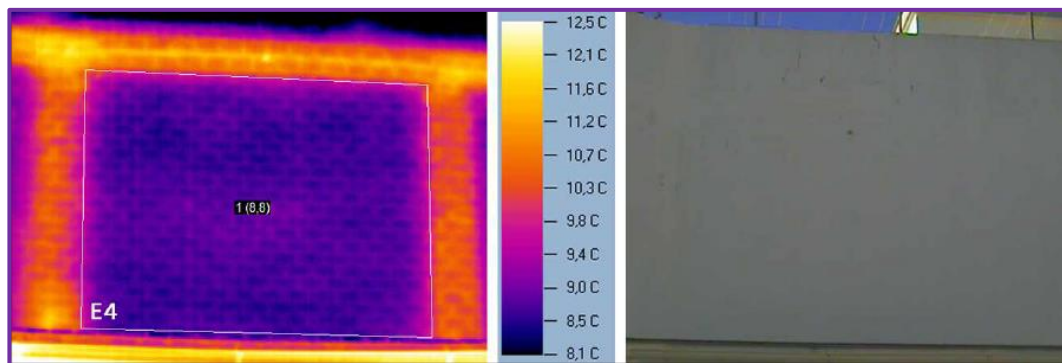


Fig. 7.2.4.6. Termografía de la fachada norte (Fig. 4.62 de Facchini, 2014)

### 7.3.- PATENTES DE SOLUCIONES A PUENTES TÉRMICOS

Existen numerosas patentes relacionadas con la mejora de aislamientos en fachadas para prevenir o minimizar los puentes térmicos.

En este apartado se han definido algunas de ellas, pero para el desarrollo de este Proyecto Fin de Grado se han utilizado aquellas que son aplicables a los puentes térmicos en los frentes de forjado, para así analizar su puesta en funcionamiento mediante softwares de cálculo de puentes térmicos.

### **7.3.1.- PATENTE N°1. Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas**

Esta patente solicitada por la Universidad de Sevilla tiene como inventores a:

- Ortega López, Humberto;
- Moyano Campos, Juan José;
- Marín García, David;
- Rico Delgado, Fernando;
- Moreno Muñoz, Antonio;

N.º de publicación: 2537251

Fecha de presentación: 25.10.2013

N.º de solicitud: 201301021

Fecha de publicación: 03.06.2015

Muchas partes de la envolvente del edificio son susceptibles de que se produzcan problemas por puentes térmicos, pero una de las más comunes y sin solución es la que se produce en los frentes de forjado. Por ello, esta invención pretende evitar los problemas de pérdidas energéticas por puentes térmicos que se producen en esa zona.

La solución que se suele adoptar en las zonas de frentes de forjado para evitar los puentes térmicos es incluir un aislamiento en la zona, en contacto con el forjado, y una fábrica de ladrillo cerámico hacia el exterior. Y aunque aparentemente se resuelve y reduce el puente térmico, es un sistema que no está integrado en la estructura, y con el paso del tiempo se puede convertir en un problema, dando lugar a filtraciones de humedad, agua, e incluso desprendimientos.

Esta patente intenta evitar esos problemas creando un sistema integrado en la estructura de hormigón, ya que se fija a las vigas perimetrales antes del hormigonado, y que a la vez sea aislante para evitar el puente térmico.

La presente invención tiene por objeto una estructura de aislamiento térmico en frente de forjados compuesta por unas varillas o mallazo de acero galvanizado o bien con chapa perforada o desplegada; que junto a las horquillas de sujeción forman una estructura de espesor variable entre 20 y 60 mm de espesor aproximadamente con altura igual al canto del forjado y que se fija a las vigas perimetrales del forjado evitando así la pérdida de transmisión de calor que genera el corte de los cerramientos a la altura de los mismos. (Ortega, Moyano, Marín, Rico y Moreno, 2015, p.02)

Para ayudar a entender más esta invención, la patente aporta documentación gráfica con indicaciones de cada elemento que la compone.



Teniendo en cuenta que el invento podría desarrollarse de dos maneras diferentes, cada una de ellas constaría de los siguientes elementos:

➤ Sistema EAFF1

Soporte exterior a base de estructura reticular de redondos de acero o mallazo prefabricado, formado por: varillas horizontales que forman la estructura del soporte (4) y horquillas de acero galvanizado que sujetan la placa de aislamiento. (3)

Placa de aislamiento térmico (poliestireno extrusionado o expandido, poliuretano, lana de roca...) de espesor entre 20 y 60mm. (2)

Conectores metálicos (redondos de acero estructural, pletinas...) que unen la placa de aislamiento y el soporte exterior mediante soldadura a este último, y sirven de anclaje a las armaduras principales de las vigas perimetrales de los forjados. (1)

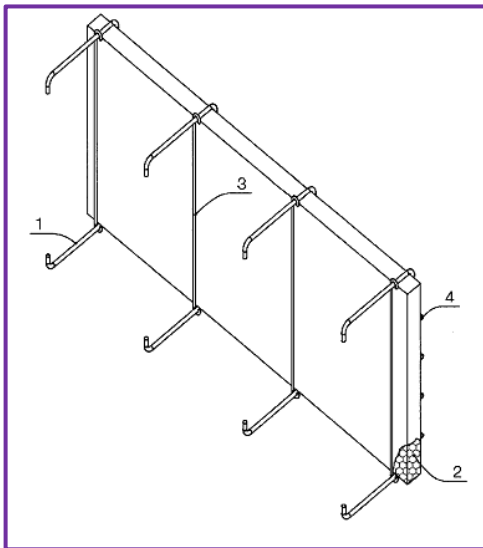


Fig. 7.3.1.1. Sistema EAFF1 (Figura 4 de Ortega, H., 2015)

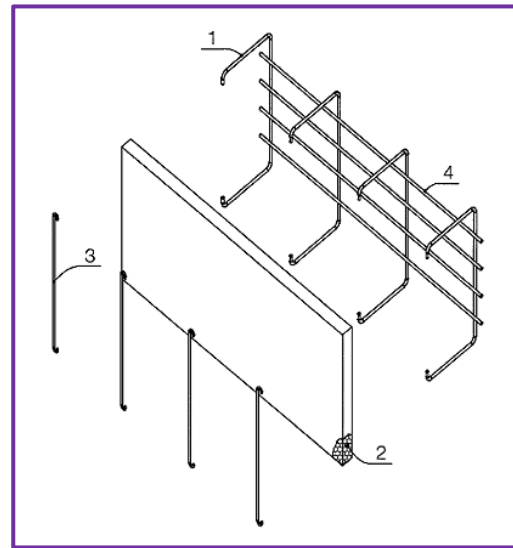


Fig. 7.3.1.2. Despiece del sistema EAFF1 (Figura 5 de Ortega, H., 2015)

➤ Sistema EAFF2

Soporte exterior a base de chapa desplegada, perforada o troquelada. (5)

Placa de aislamiento térmico (poliestireno extrusionado o expandido, poliuretano, lana de roca...) de espesor entre 20 y 60mm. (2)

Conectores metálicos (redondos de acero estructural, pletinas...) que unen la placa de aislamiento y el soporte exterior mediante soldadura a este último, y sirven de anclaje a las armaduras principales de las vigas perimetrales de los forjados. (1).

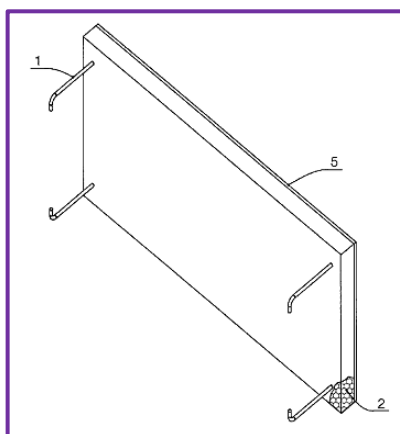


Fig. 7.3.1.3. Sistema EAFF2 (Figura 9 de Ortega, H., 2015)

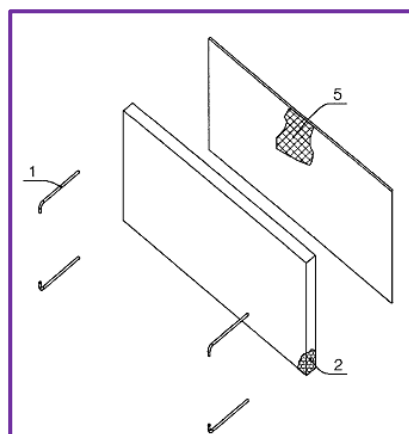


Fig. 7.3.1.4. Despiece del sistema EAFF2 (Figura 10 de Ortega, H., 2015)

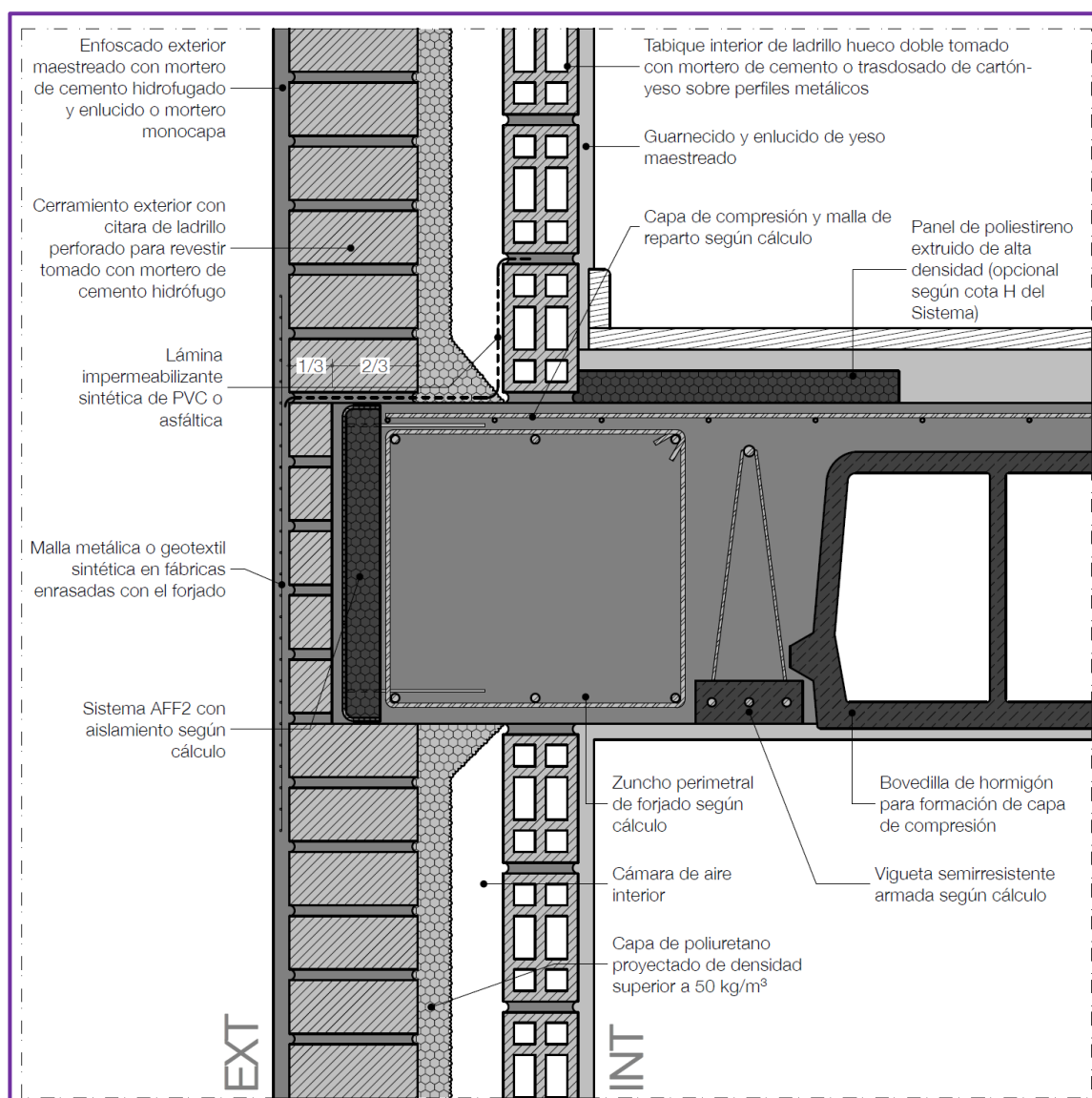


Fig. 7.3.1.5. Detalle de implementación del sistema AFF2 (Ortega, H. et al, 2015)

### 7.3.2.- PATENTE N°2. Recubrimiento para cantos de forjados

Esta patente solicitada por Optimer System S.A., tiene como inventor a López Muñoz, Rufino

N.º de publicación: 2387165

Fecha de presentación: 08.10.2010

N.º de solicitud: 201001299

Fecha de publicación: 17.09.2012

Debido a que los frentes de forjados son zonas de los edificios muy susceptibles a los puentes térmicos, esta invención se ha realizado con el objetivo de conseguir un aislamiento térmico y acústico en los cantos de forjado.

La presente invención tiene por objeto un recubrimiento para cantos de forjado que comprende al menos una capa de polietileno y una lámina de aluminio unida a dicha capa de polietileno por una de sus caras, donde a la otra cara de la capa de polietileno se encuentra unida una malla de revoco, donde se disponen los materiales que conforman el tramo de fachada correspondiente al canto de forjado, que permite aislar térmica y acústicamente dicha zona del forjado expuesta a puentes térmicos y acústicos ya que presenta una elevada resistencia térmica que evita la presencia de puentes térmicos en dicho punto, clave para evitar el paso de calor al interior del edificio, además de evitar el paso de vapor de agua desde el exterior al interior del forjado, lo que evita la aparición de humedades y aparición de hongos. (López, 2013, p.01)

Esta patente aporta dos ejemplos de realización de la invención. A continuación, se detallan los elementos de cada ejemplo mediante los planos que se incluyen en esta patente para facilitar la comprensión.

#### ➤ Ejemplo 1.

Recubrimiento formado por una capa de polietileno de alta densidad FR (autoextingible) de 4mm de espesor (1), que actúa como aislante.

La cara interior de dicha capa se une con una lámina de aluminio puro (100%) (2), que será la que esté en contacto con el forjado.

A la cara exterior se le unirá una malla de revoco (4), donde se agarra el mortero para disponer posteriormente los materiales de fachada (6).

Todo este conjunto queda unido al forjado por su parte superior e inferior mediante unas fijaciones (5).

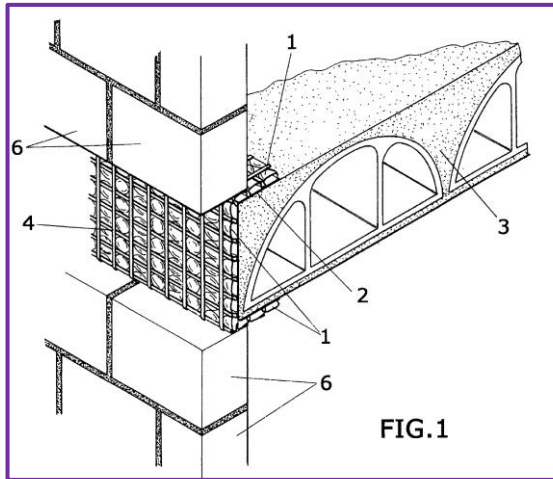


Fig. 7.3.2.1. Perspectiva desde el exterior del ejemplo 1 (Fig.1 de López, R., 2013)

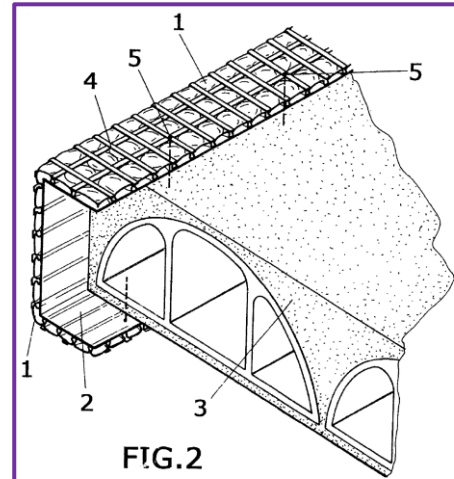


Fig. 7.3.2.2. Perspectiva desde el interior del ejemplo 1 (Fig.2 de López, R., 2013)

➤ Ejemplo 2.

Recubrimiento formado por dos capas de polietileno de alta densidad FR (autoextinguible) de 4mm de espesor (1), quedando una de ellas en contacto con el canto del forjado.

Entre las dos capas anteriormente mencionadas se dispone una lámina de aluminio puro (100%) (2).

A la cara exterior se le unirá una malla de revoco (4), donde se agarra el mortero para disponer posteriormente los materiales de fachada (6).

Todo este conjunto queda unido al forjado por su parte superior e inferior mediante unas fijaciones (5).

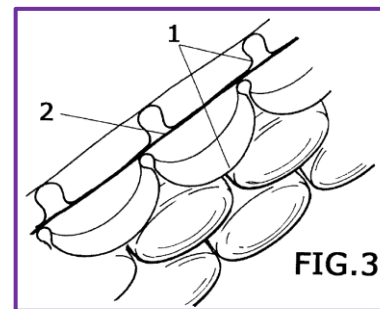


Fig. 7.3.2.3. Detalle recubrimiento del ejemplo 2 (Fig.3 de López, R., 2013)



### 7.3.3.- PATENTE N°3. “Abschalungselement” Elemento de encofrado

Esta patente es alemana, y está solicitada por EGCO AG, Saanen, CH, tiene como inventor a Egger, Walter, Saanen, CH.

N.º de publicación: 3542651

Fecha de presentación: 03.12.1985

N.º de solicitud: P35426519

Fecha de publicación: 26.06.1986

El objeto de esta patente de origen alemán es reducir el puente térmico en los frentes de forjado mediante un elemento de encofrado no recuperable a base de un material aislante.

Dicho elemento de encofrado se compone de una estructura realizada con perfiles de hierro o acero en ángulo recto, conectadas entre sí mediante unos tirantes transversales que las mantienen fijas. A esta estructura base se le conecta un panel aislante que sirve como encofrado no recuperable para la ejecución del forjado.

Para ayudar a entender más esta invención, la patente aporta la siguiente documentación gráfica.

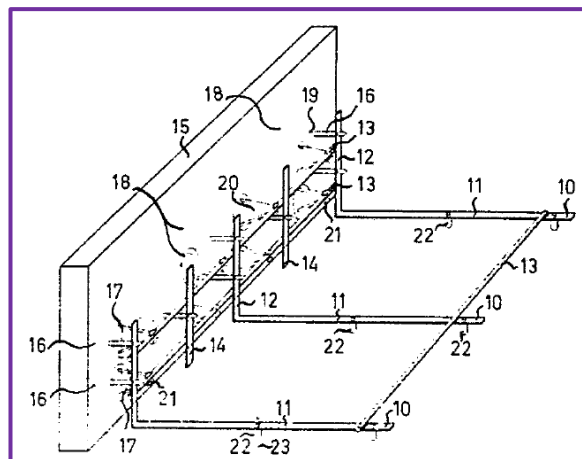


Fig. 7.3.3.1. Detalle de elemento de encofrado (Fig.1 de Egger, S., 1984)

Estructura base del elemento compuesta por perfiles de hierro (10) que forman un ángulo recto, consiguiendo así que el mismo perfil funcione como apoyo horizontal (11), y a la vez como apoyo vertical (12) para la fijación del panel aislante.

Los perfiles estarán conectados entre sí por barras transversales (13), actuando así a modo de tirantes para mantener la distancia entre los perfiles. Adicionalmente se pueden añadir perfiles verticales (14) para asegurar la rigidez de la estructura.

Por último, se encuentra el panel aislante (15), que tendrá la altura del canto de forjado, y se fija a la estructura mediante unas fijaciones (16 y 17).

#### 7.3.4.- Otras patentes consultadas

**1) Título: Sistema de ejecución de paneles para fachadas, cubiertas y forjados de piso.**

Solicitante: Ibáñez Lazurtegui S.L.

Inventor: Ibáñez Ceba, Ángel Manuel

N.º de publicación: 2534253

Fecha de presentación: 19.09.2013

N.º de solicitud: 201300889

Fecha de publicación: 20.04.2015

Sistema de ejecución de paneles para fachadas, cubiertas y forjados de piso compuestos de una o más láminas aislantes (2), otras láminas de material plástico o metálicas (3 y 9) para crear cámaras de aire (4) y por láminas resistentes, compuestas estas últimas por mallas reticulares de hormigón armado (1) cuyos nudos están conectados a los de las otras mallas reticulares (1) mediante conectores metálicos planos (6) orientados en el sentido de los nervios (5) de las mallas (1) y unidos a las armaduras (7) de estos nervios (5) mediante horquillas (8) que las rodean, creando una estructura rígida espacial. (Ibáñez, 2015, p.01)

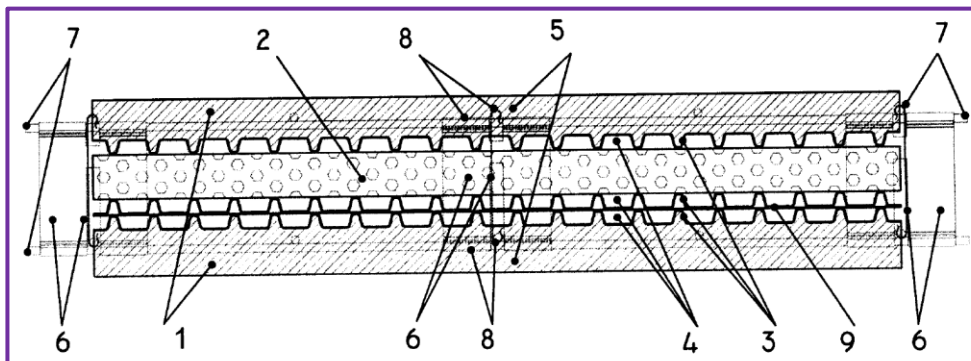


Fig. 7.3.4.1. Sección del panel (Fig.2 de Ibáñez, A.M., 2015)

Como esta patente está referida a los paneles prefabricados, no es susceptible de ser analizada en profundidad para este proyecto ya que el análisis se centra en los puentes térmicos en edificios construidos por medios tradicionales.

**2) Título: Sistema de tabique aislante trasdosado y procedimiento de montaje de dicho tabique.**

Solicitante: Torres del Rosario, Carlos

Inventor: Torres del Rosario, Carlos

N.º de publicación: 2299292

Fecha de presentación: 26.04.2005

N.º de solicitud: 200501005

Fecha de publicación: 16.05.2008

El objetivo de la presente invención es desarrollar un sistema de tabique aislante trasdosado a muro, así como el procedimiento de montaje del mismo, consiguiendo evitar las tensiones en las juntas entre paneles, una mejor manejabilidad de los elementos que conforman el tabique, una mejor adherencia de las pastas de agarre, una mayor facilidad en el montaje de los cercos de las ventanas, así como la coordinación con otros oficios, no necesitando esperar a su montaje a la disposición de la losa de nivelación, y consiguiendo el aislamiento del canto de la losa de nivelación. (Torres, 2008, p.02).

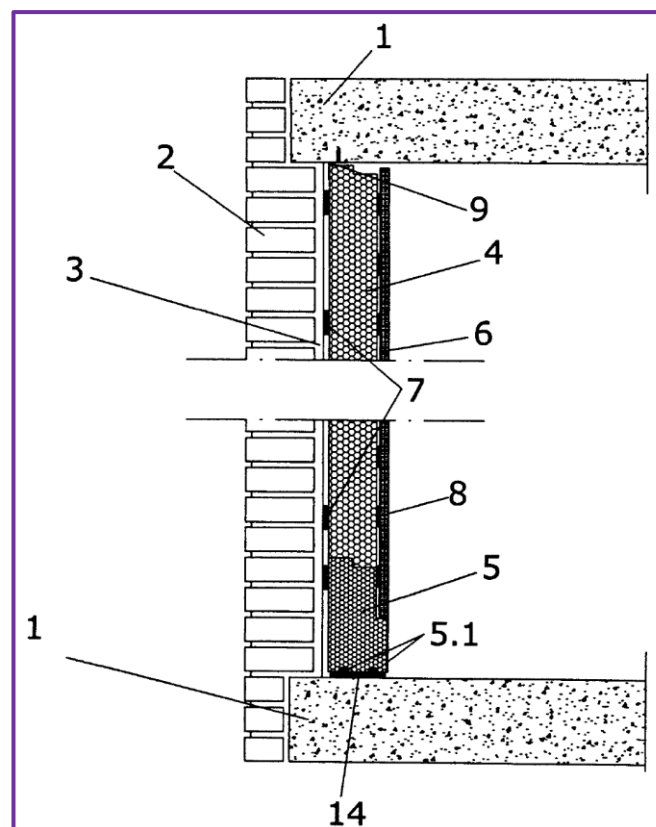


Fig. 7.3.4.2. Sección vertical del invento (Fig.1 de Torres del Rosario, C., 2008)

El ámbito de aplicación de esta patente se centra en el aislamiento interior de las fachadas, concretamente en los tabiques, por lo cual no se han analizado los elementos y montaje de esta patente ya que no influye en los puentes térmicos que se producen en los frentes de forjado.

### 3) **Título: Aislamiento térmico bioclimático para exterior de edificios.**

Solicitante: PUBER, S.A.

Inventor: Puyal Bernad, Jesús César

N.º de publicación: 2193884

Fecha de presentación: 22.04.2002

N.º de solicitud: 200200929

Fecha de publicación: 01.11.2003

Esta patente tiene por objeto el registro de un aislamiento térmico bioclimático para exterior de edificios, que incorpora notables innovaciones y ventajas frente a los actuales aislamientos térmicos aplicables, tanto para edificios de nueva construcción como para rehabilitación de edificios con aislamiento insuficiente.

Consiste en un aislamiento térmico para edificios de tipo multicapa cuyos componentes aseguran una alta resistencia a la transferencia térmica y que además aportan una facilidad al paso del vapor de agua. (Puyal, 2003, p.02)

Esta invención consta de las siguientes capas desde el interior al exterior:

Ladrillo de arcilla (1), que forma el muro del cerramiento.

Una capa de recubrimiento de cemento (2).

Una capa de adhesivo permeable al vapor de agua (3).

Una capa constituida por planchas de aglomerado de corcho negro (5).

Todas estas capas anteriores quedan sujetas por medios mecánicos mediante anclajes (4).

Una capa de mortero cal de protección exterior (6), en cuyo seno existe una malla de fibra de vidrio de soporte (7).

Una capa de pintura o acabado tipo estuco, fratasado, brillante u otro, de propiedades permeables al vapor de agua (8).

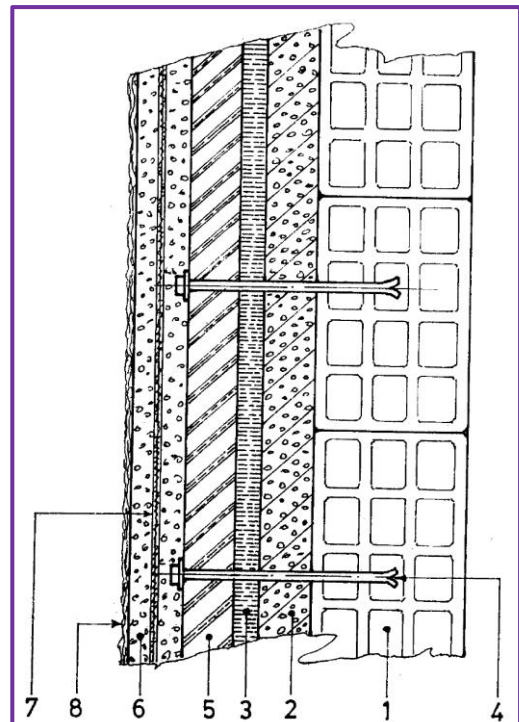


Fig. 7.3.4.3. Sección transversal (Fig.1 de Puyal, J.C., 2003)

Como esta patente no es específica para el aislamiento en los frentes de forjado no es considerada para el estudio, ya que influye en la fachada completa además de los puentes térmicos de frentes de forjado.

## 7.4.- SOFTWARES INFORMÁTICOS

En la actualidad existen una gran variedad de softwares informáticos que cuentan con opciones de cálculo de puentes térmicos, algunos más complejos y otros más intuitivos.

En este apartado se presentan algunos softwares informáticos que se han utilizado en el estudio de este Proyecto Fin de Grado, así como una comparativa con otros softwares a los que por diversos motivos no han sido utilizados en este proyecto.

### 7.4.1.- DesignBuilder

DesignBuilder es un software especializado en la simulación ambiental y energética de edificios. Sus avanzadas prestaciones permiten evaluar aspectos como los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de carbono. Concebido para facilitar los procesos de simulación, ofrece diversos módulos de análisis integrados entre sí, lo cual significa mayor productividad y eficiencia. Se trata de una herramienta de alto desempeño para el diseño, la consultoría y la certificación energética.

El módulo Simulación de DesignBuilder representa el acceso al motor de cálculo de EnergyPlus, uno de los softwares de simulación más avanzado. Con él se puede evaluar, con gran precisión y detalle, los diversos aspectos que afectan el desempeño ambiental y energético de los edificios, incluyendo tanto la envolvente arquitectónica como los sistemas mecánicos. EnergyPlus es un software de simulación muy potente y flexible, pero a la vez difícil de usar.

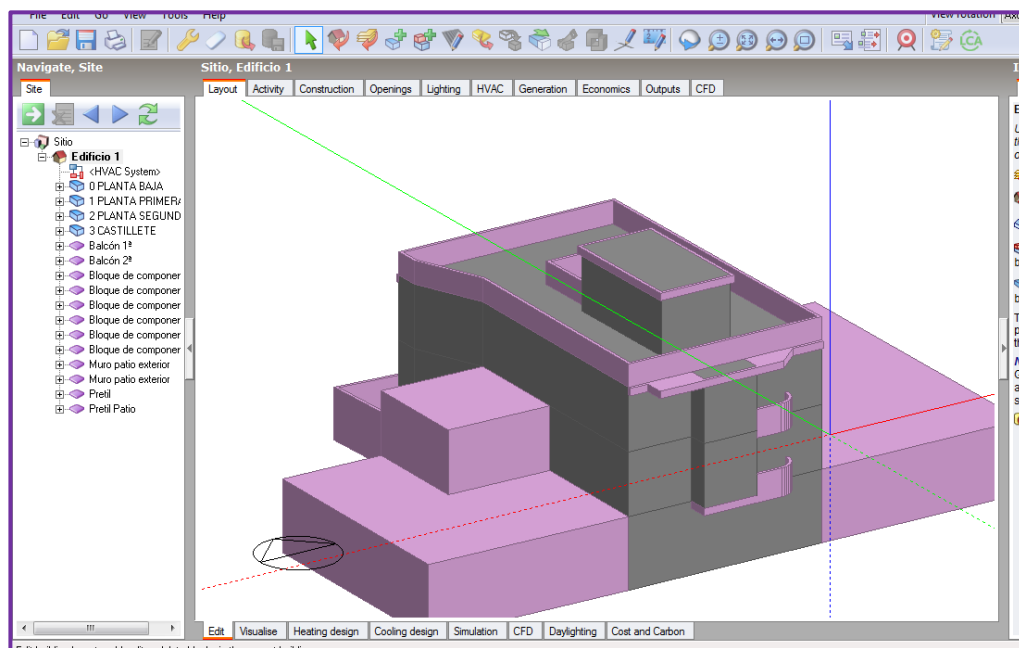


Fig. 7.4.1.1. Interfaz del software DesignBuilder. Ejemplo (Fuente propia)

Es una herramienta que permite la modelización de un edificio completo con gran cantidad de detalles para poder aportar diferentes resultados a nivel global del edificio en materia de energía, como la demanda y el confort, que serán los estudiados en este PFG.

El DesignBuilder actualmente es un software que necesita de una licencia para poder utilizarlo, dicha licencia se traduce en un elevado costo. Pero cuenta con versiones de pruebas muy útiles para estudiantes, aunque si bien es cierto que dichas versiones de prueba tienen con ciertas restricciones en su uso, que, sumadas al largo tiempo de aprendizaje de utilización del software, hacen que ésta sea insuficiente.

#### 7.4.2.- THERM

THERM es un software de cálculo de calor en dos dimensiones en régimen estacionario por lo que resulta especialmente útil para los cálculos de las características térmicas de los puentes térmicos de los edificios. Está desarrollado por Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL).

Consigue más versatilidad en el estudio de elementos arquitectónicos bidimensionales de cualquier tipo, puesto que acepta cualquier configuración bidimensional y opera bajo entorno de Windows. Su librería de materiales y condiciones de contorno es fácilmente accesible y modificable por el usuario para adaptarlas a cada caso concreto.

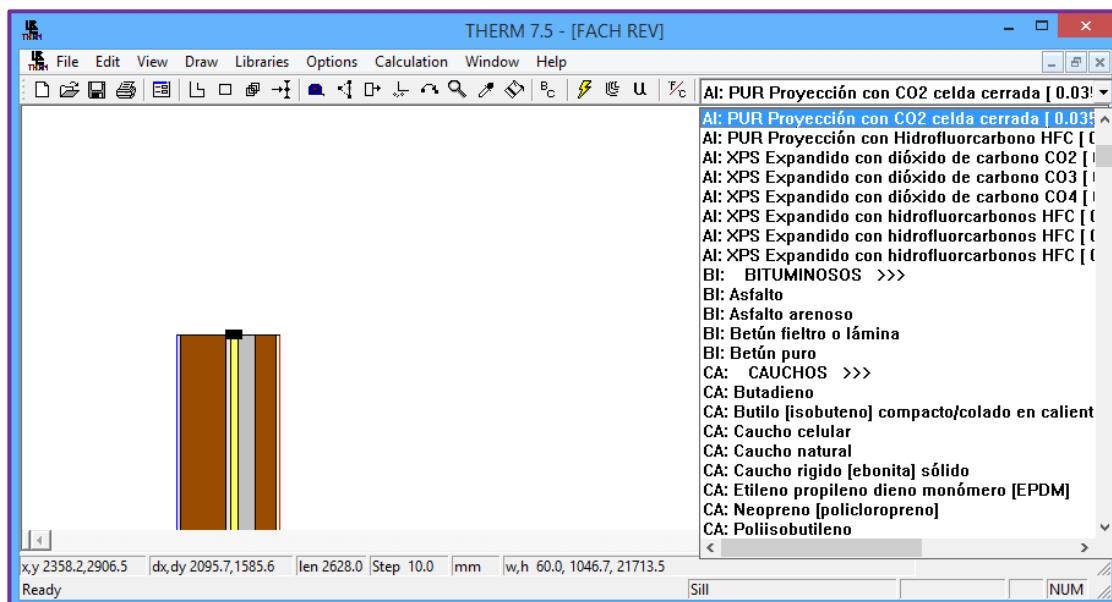


Fig. 7.4.2.1. Interfaz del software THERM y librería de materiales. Ejemplo (Fuente propia)

El software THERM realiza el análisis térmico en estado permanente del puente térmico lineal que haya sido introducido previamente con un procedimiento muy simple: tras dibujar capa a capa el puente y tras la imposición de las condiciones de contorno

pertinentes, el software devolverá la distribución de temperaturas (con lo que es identificable el punto de mínima temperatura superficial interior) y el valor de la transmitancia media  $U_m$ . Con estos datos, el resto de los parámetros se calculan tal como indica la norma.

El entorno gráfico de adquisición de datos es muy amigable y son muy esclarecedoras las gráficas disponibles de isotermas, líneas de flujos térmicos o diagramas de colores.

#### **7.4.3.- Análisis final de los diferentes softwares**

Entre los dos softwares elegidos para la realización de este Proyecto Fin de Grado, se puede concluir que el software THERM es un programa muy intuitivo y fácil de utilizar, en un par de días se puede llegar a controlar y entender la interfaz del programa. Realiza cálculo de puentes térmicos en dos dimensiones, con una buena librería de materiales, y proporciona resultados visualmente muy sencillos de comprender. Es un software que trabaja a nivel de encuentros, no pudiendo calcular los efectos globales a nivel de edificio. Su descarga gratuita hace de este software una herramienta de cálculo de puentes térmicos muy accesible.

El software DesignBuilder, por el contrario, cuenta con una interfaz más compleja que requiere de bastante tiempo para poder llegar a controlarlo eficientemente, es más potente, pero a la vez, más complicado de utilizar, aunque una vez se controla se puede realizar el modelado del edificio de manera muy sencilla, ya que su método de trabajo mediante bloques es muy cómodo. Cuenta con una gran biblioteca de materiales, y, a diferencia de THERM, trabaja en tres dimensiones. No calcula el efecto de los puentes térmicos, pero ofrece una gran cantidad de resultados a niveles energéticos que a priori son difíciles de comprender, debido a la información masiva que aporta, aunque es posible seleccionar los resultados que se quieran visualizar. El inconveniente más grande radica en el elevado coste del software, aunque cuenta con una versión de prueba gratuita, que bien puede quedarse corta para aquellos que se inicien en el programa.



## 8.- ANÁLISIS DE CASOS Y DESARROLLO

### 8.1.- 1ª FASE. CÁLCULO DE LOS DIFERENTES SUPUESTOS EN MURO REVESTIDO. SOFTWARE THERM

En esta primera fase de trabajo se han realizado los cálculos de los puentes térmicos en la zona de frentes de forjado del muro revestido, diferenciándose los cuatro supuestos que se proponen a continuación:

- Supuesto 1. Puente térmico en frente de forjado en su estado natural.
- Supuesto 2. Puente térmico en frente de forjado con incorporación de la “Patente nº1”
- Supuesto 3. Puente térmico en frente de forjado con incorporación de la “Patente nº2”
- Supuesto 4. Puente térmico en frente de forjado con incorporación de la “Patente nº3”

Finalmente se ha realizado una comparativa de los resultados de los cuatro supuestos y se ha elegido uno de ellos para realizar la simulación energética en la tercera fase.

#### 8.1.1.- Procedimiento de trabajo en el software THERM

Antes de comenzar a analizar cada supuesto en concreto, se explica el modo de utilización del software THERM y las cuestiones referentes al procedimiento de cálculo que son comunes en todos los supuestos. Como ejemplo se ha utilizado el encuentro del forjado con la fachada revestida del edificio en su estado natural.

##### a) Modelado geométrico.

Como se ha dicho en otro apartado, THERM es un software de cálculo que utiliza modelos geométricos bidimensionales, por lo tanto, para comenzar a trabajar con el software THERM es necesario realizar en él un dibujo bidimensional de la zona a calcular, teniendo en cuenta unas reglas de modelado que marca la UNE-EN ISO 10211:2007.

Esta normativa indica que “los planos de corte deberán situarse al menos a una distancia  $d_{\min}$  desde el elemento central. Siendo  $d_{\min}$  un valor igual a 1 metro o a tres veces el espesor del elemento de flanco, el que sea mayor.” (UNE-EN ISO 10211:2007, 2012, p.16). Como se muestra en la Fig.8.1.1.1).

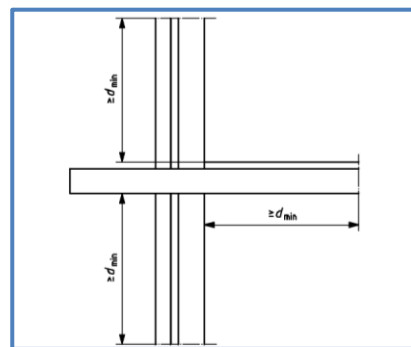


Fig. 8.1.1.1. Situación de los planos de corte (Figura 7 del UNE-EN ISO 10211:2007)



THERM permite realizar el dibujo directamente en el software, o bien cargar en él una plantilla y dibujar sobre ella. Se ha optado por utilizar una plantilla realizada con el software AutoCAD del encuentro entre forjado y muro de fachada del edificio en cuestión, (Fig. 8.1.1.2), la cual se ha convertido a formato .dxf para posteriormente importarla en el software THERM (Fig. 8.1.1.3).

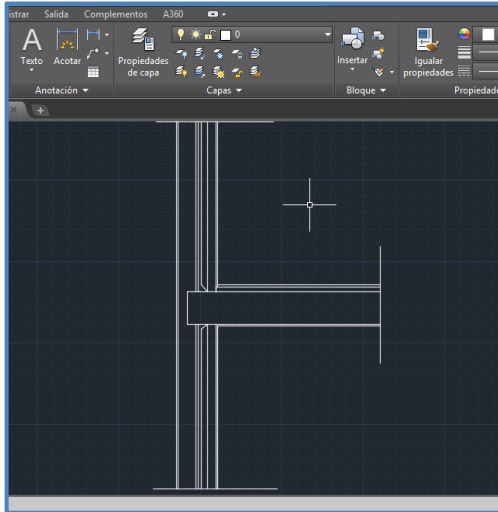


Fig. 8.1.1.2. Ejemplo de plantilla realizada en AutoCAD (Fuente propia)

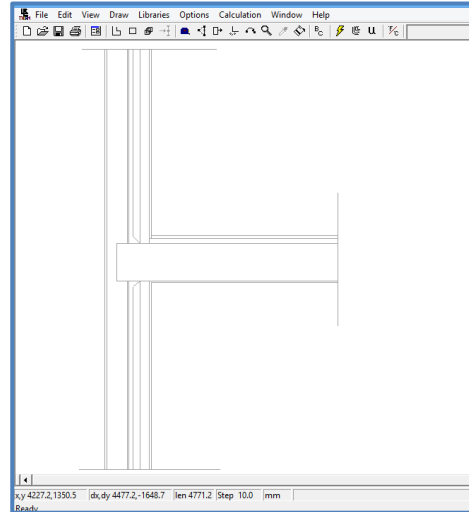


Fig. 8.1.1.3. Ejemplo de plantilla exportada a THERM (Fuente propia)

A continuación, sobre la plantilla se dibujan las diferentes capas del muro y del forjado. THERM utiliza polígonos como herramientas de dibujo, así que con ellos se realizan las diferentes capas (Fig. 8.1.1.4).

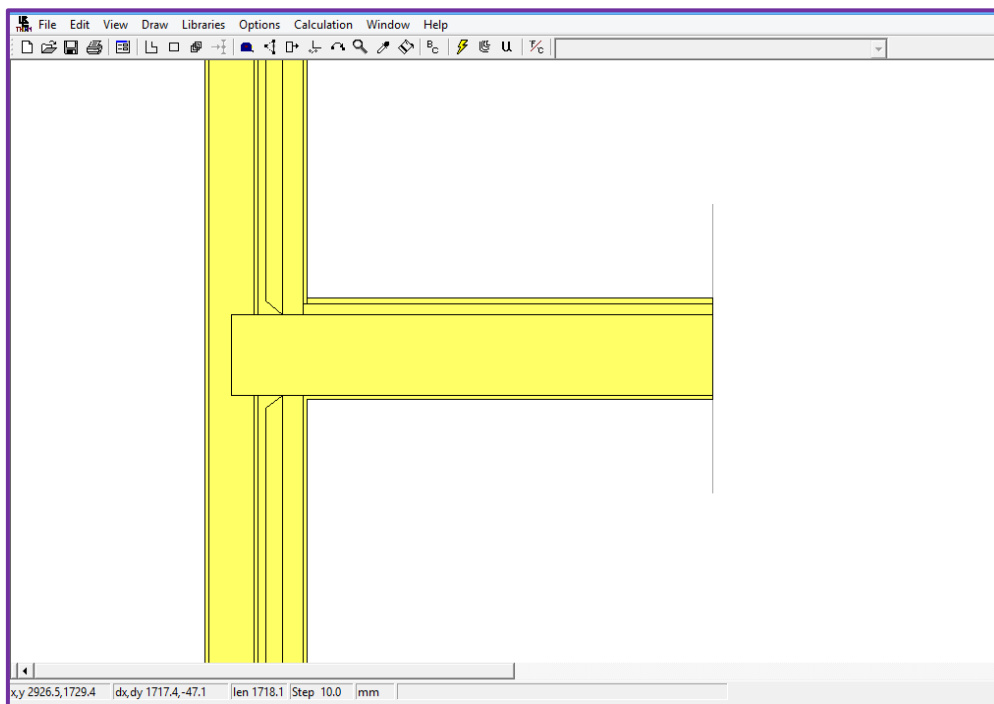


Fig. 8.1.1.4. Ejemplo de polígonos dibujados sobre la plantilla (Fuente propia)

b) Asignación de materiales.

Una vez realizado el dibujo se asignan los diferentes materiales a cada polígono. Esto se puede hacer creando cada material desde cero con el software, o cargando una librería de materiales.

En este caso se ha optado por cargar en el software una librería de materiales de la base de datos del catálogo de elementos constructivos, y a partir de esa librería, asignar los materiales a cada polígono (Fig. 8.1.1.5).

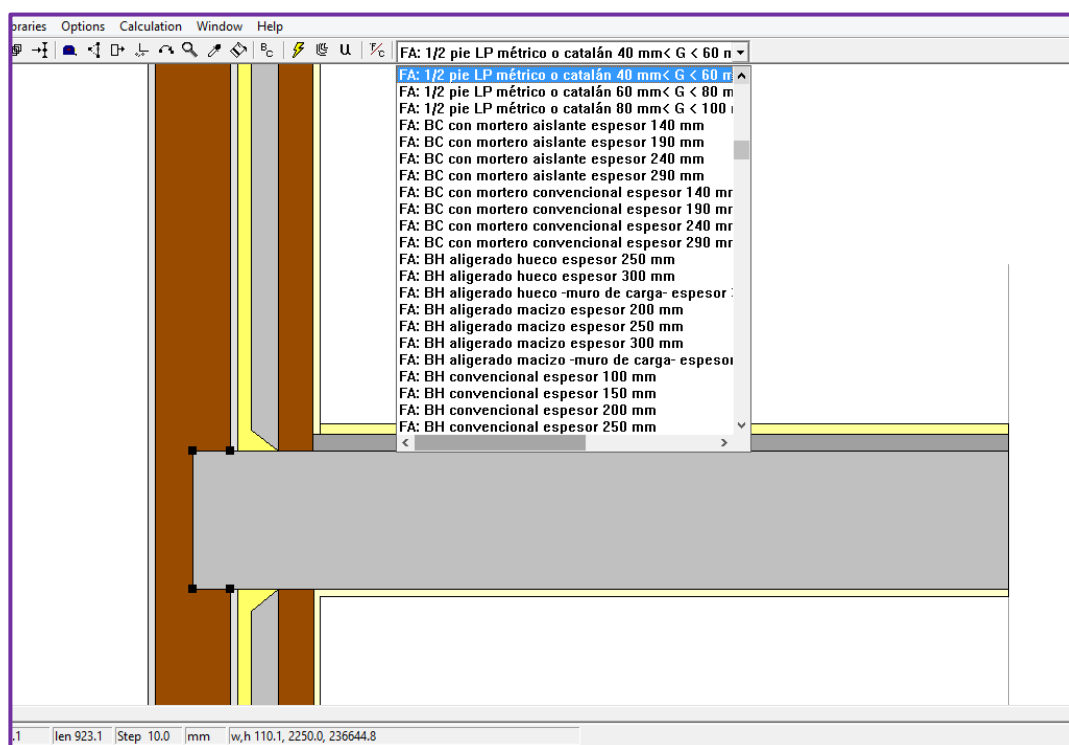


Fig. 8.1.1.5. Ejemplo de la asignación de materiales a los polígonos (Fuente propia)

c) Condiciones de contorno.

A continuación, se deben crear las condiciones de contorno interior y exterior para poder realizar el cálculo. Para ello hay que tener en cuenta las temperaturas y las resistencias superficiales.

En el caso de las temperaturas, atendiendo a las condiciones concretas que se dan en Sevilla, se utilizarán los valores de 21 °C en el interior y 5 °C en el exterior, al objeto de realizar una simulación en período invernal.

Para la resistencia superficial interior  $R_{si}$ , es necesario conocer la dirección de flujo.

Flujo horizontal o sin tener seguridad de la dirección de flujo:

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

(En THERM, Coeficiente = 7.692 W/m<sup>2</sup>K)

Flujo vertical ascendente:

$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$  (En THERM, Coeficiente =  $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

Flujo vertical descendente:

$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$  (En THERM, Coeficiente =  $5.882 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

Para la resistencia superficial exterior  $R_{se}$  se utilizará:

$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  (En THERM, Coeficiente =  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ )  
(Campos, 2013-2016, p.20)

THERM utiliza estos coeficientes que resultan de la formula inversa de las resistencias superficiales. Con estos datos se crean una condición de contorno interior con una temperatura de  $21 \text{ }^\circ\text{C}$  y un coeficiente interior de  $7.692 \text{ W/m}^2\text{K}$  (que representa el  $0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$  de la  $R_{si}$ ), y una exterior de  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  y un coeficiente de  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$  (para representar el  $0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$  de la  $R_{se}$ ).

Los planos de cortes tienen una condición de contorno adiabática (flujo de calor nulo).

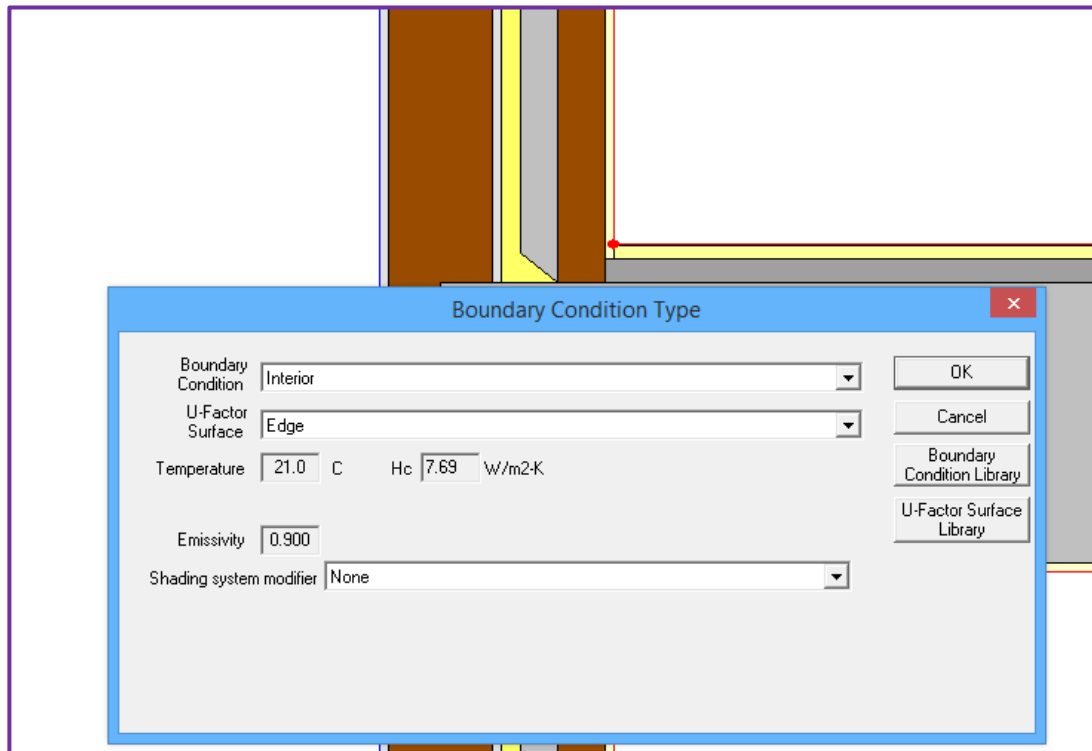


Fig. 8.1.1.6. Ejemplo de asignación de las condiciones de contorno (Fuente propia)

d) Obtención de resultados.

Una vez asignadas las condiciones de contorno, se realiza el cálculo simplemente haciendo clic en el botón de calcular, lo que generará varios tipos de resultados visuales y numéricos.

➤ Resultados visuales.

- **Malla de elementos finitos.** Este resultado muestra la malla generada por THERM, en la cual se calculan los valores.
- **Líneas isotermas.** Aquí se muestran las líneas isotermas que unen aquellos puntos a la misma temperatura (°C).
- **Vectores de flujo.** En este resultado se pueden ver dibujados los vectores de flujo que indican el sentido y la magnitud del flujo de calor en  $W/m^2$ . Cada vector se sitúa en el centro de cada celda de la malla anteriormente descrita, por lo que una mayor concentración de vectores no indica mayor flujo, lo que indica un flujo mayor es la longitud del vector.
- **Líneas de magnitud de flujo de calor.** Aquí se muestran las líneas que unen aquellos puntos con la misma magnitud de flujo de calor ( $W/m^2$ ).
- **Mapa de color de temperatura.** Con esta grafica de colores se puede apreciar la temperatura de cada punto. Va acompañado de una leyenda de color en °C.
- **Mapa de color de la magnitud del flujo de calor.** Esta grafica de colores muestra la magnitud del flujo de calor en cada punto. Va acompañado de una leyenda de color en  $W/m^2$ .

➤ Resultados numéricos.

- **Diferencia de temperatura.** Muestra la diferencia entre la temperatura de ambiente exterior y la interior en °C.
- **Longitud.** Muestra las longitudes en metros referentes a los diferentes elementos de flanco por los que circula el flujo de calor.
- **Flujo de calor.** Muestra la cantidad de flujo de calor en W que pasa de una zona a otra.

### 8.1.2.- Supuesto 1. Puente térmico en frente de forjado en su estado natural

#### I) Descripción del supuesto y análisis de sus elementos.

Este supuesto contempla el cálculo del puente térmico en la zona de frente de forjado de una fachada concreta del edificio objeto de estudio, sin incorporación de ninguna patente, analizando así el frente de forjado en su estado natural.

La tipología de fachada elegida es la formada por muro revestido de 25 cm, que se encuentra en todas las fachadas, a excepción de la fachada oeste donde solamente se localiza en la zona de balcones.

El muro está compuesto, como se muestra en la Fig. 8.1.2.1, por un tabique de ladrillo con enlucido de yeso por el interior, cámara de aire, aislamiento a base de poliuretano, capa de mortero de cemento y un muro de medio pie de ladrillo perforado con un enlucido de mortero monocapa por el exterior.

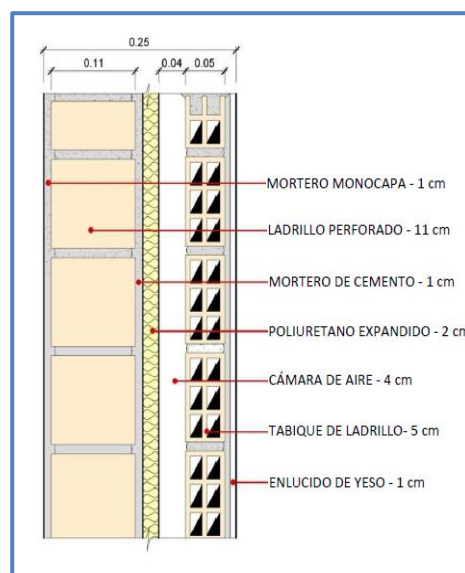


Fig. 8.1.2.1. Detalle constructivo de muro revestido  
(Fig.4.67 de Facchini, 2014)

Mediante el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, se obtienen los datos de conductividad térmica ( $\lambda$ ) de cada uno de los materiales que componen la fachada. Al no conocer con exactitud las densidades de dichos materiales no es posible concretar la conductividad térmica, por lo que se ha optado por elegir aquellos más comunes en el sector. A continuación, se muestra en la Tab. 8.1.2.1 los datos de cada material de la fachada.

CAPAS DEL MURO REVESTIDO	e (m)	$\lambda$ (W/mK)
Enlucido de mortero monocapa	0,01	0,640
Fábrica de 1/2 pie de ladrillo perforado	0,11	0,570
Mortero de cemento 1900 Kg/m <sup>3</sup>	0,01	1,300
Espuma rígida de Poliuretano (PUR)	0,02	0,300
Cámara de aire	0,04	-
Fábrica de tabique de ladrillo hueco sencillo	0,05	0,555
Enlucido de yeso	0,01	0,400
<b>TOTAL</b>	<b>0,25</b>	<b>-</b>

Tab. 8.1.2.1. Espesores y conductividad térmica de los materiales de la fachada (Fuente propia)

La unión de esta fachada con el forjado se resuelve de la siguiente manera, como se muestra en la Fig. 8.1.2.2.

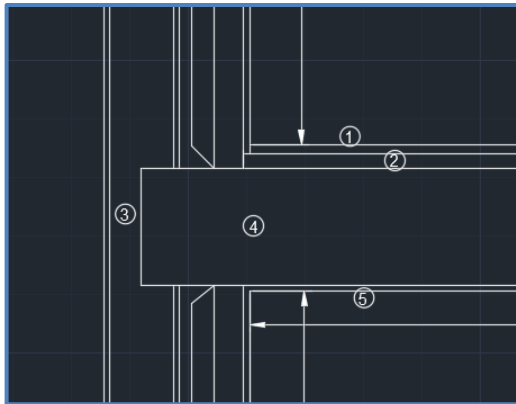


Fig. 8.1.2.2. Elementos del forjado y unión con la fachada. Supuesto 1 (Fuente propia)

- 1) Solería cerámica de 1,5 cm de espesor.
- 2) Capa de nivelación de hormigón en masa HM-20 de 2,5 cm de espesor.
- 3) Emparchado de ladrillo perforado de 5,5 cm
- 4) Forjado de hormigón armado HA-25 de 30 cm de canto.
- 5) Enlucido de yeso de 1 cm de espesor.

La unión del forjado y la fachada obliga a la realización de un emparchado de ladrillo en la zona de frente de forjado, provocando el puente térmico en esa zona.

El forjado es de hormigón armado HA-25, con una capa de compresión de 5 cm de espesor, obteniendo un canto total de forjado de 30 cm. Sobre el forjado se encuentra una capa de nivelación de hormigón en masa HM-20 de 2,5 cm de espesor, que recibe la solería cerámica de 1,5 cm de espesor. Bajo el forjado se encuentra un enlucido de yeso de 1 cm de espesor.

## II) Procedimiento de trabajo en el software THERM.

### a) Modelado geométrico.

Para hacer el modelado geométrico en THERM, se ha optado por realizar una plantilla en AutoCAD teniendo en cuenta la distancia de los planos de corte, cumpliendo con la UNE-EN ISO 10211:2007.

Esta normativa indica que “los planos de corte deberán situarse al menos a una distancia  $d_{\min}$  desde el elemento central. Siendo  $d_{\min}$  un valor igual a 1 metro o a tres veces el espesor del elemento de flanco, el que sea mayor.” (UNE-EN ISO 10211:2007, 2012, p.16)

Como el espesor del muro es de 0,25 m, tres veces el espesor dará como resultado 0,75 m, por lo que la distancia será  $d_{\min} = 1 \text{ m}$ , ya que es mayor que 0,75 m.

Una vez realizada la plantilla, se ha cargado en el software THERM y a partir de dicha plantilla se dibujará el modelo por capas mediante polígonos.

## b) Asignación de materiales.

Con la librería de materiales previamente cargada en el software THERM, se ha asignado a cada polígono los distintos materiales que componen el modelo del supuesto.

Se ha buscado en la librería de THERM aquellos materiales que son más parecidos a los originales en cuanto a conductividad térmica. A continuación, se muestra en la Tab. 8.1.2.2 la asignación de los materiales, de los que disponen la librería, a cada capa del modelo.

CAPA DEL MODELO	MATERIAL ASIGNADO EN THERM	$\lambda$ (W/mK)
Enlucido de mortero monocapa	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1250 < d < 1450$	0,700
Fábrica de 1/2 pie de ladrillo perforado	Fábrica de ½ pie LP métrico o catalán 60 mm $< G < 80$ mm	0,595
Mortero de cemento 1900 Kg/m <sup>3</sup>	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1800 < d < 2000$	1,300
Espuma rígida de Poliuretano (PUR)	PUR Plancha con HFC o Pentano y Rev. Permeable a gases [0,03 w/mK]	0,030
Cámara de aire	Cámara de aire sin ventilar	-
Fábrica de tabique de ladrillo hueco sencillo	Tabique de LH sencillo [40 mm $<$ Espesor $<$ 60 mm]	0,444
Enlucido de yeso	Enlucido de yeso $d < 1000$	0,400
Forjado HA-25	Forjado con capa de compresión - Canto 300 mm	1,579
Capa de nivelación	Hormigón en masa $2000 < d < 2300$	1,650
Solería cerámica	Plaqueta o baldosa cerámica	1,000

Tab. 8.1.2.2. Asignación de materiales. Supuesto 1 (Fuente propia)

## c) Condiciones de contorno.

Se comienza creando dos condiciones de contorno, una interior con una temperatura de 21° C y un coeficiente interior de 7.692 W/m<sup>2</sup>K (que representa el 0.13 m<sup>2</sup>K/W de la  $R_{si}$ ), y una exterior de 5° C y un coeficiente de 25 W/m<sup>2</sup>K (para representar el 0.04 m<sup>2</sup>K/W de la  $R_{se}$ ).

Se asigna al contorno exterior de la fachada la condición de exterior, y al contorno interior de la fachada y del forjado la condición interior, dándoles el nombre de “edge”. A los planos de cortes se le asignará una condición de contorno adiabática (flujo de calor nulo).

d) Obtención de resultados.

➤ Resultados visuales:

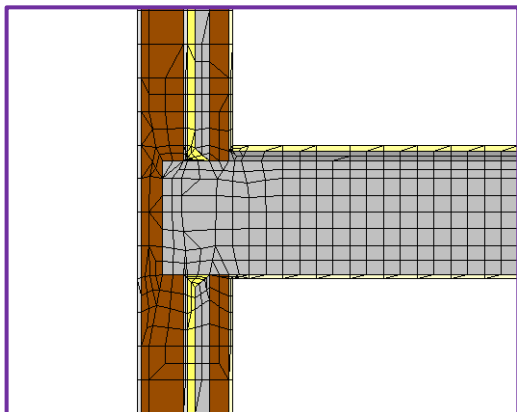


Fig. 8.1.2.3. Malla de elementos finitos. Supuesto 1 (Fuente propia)

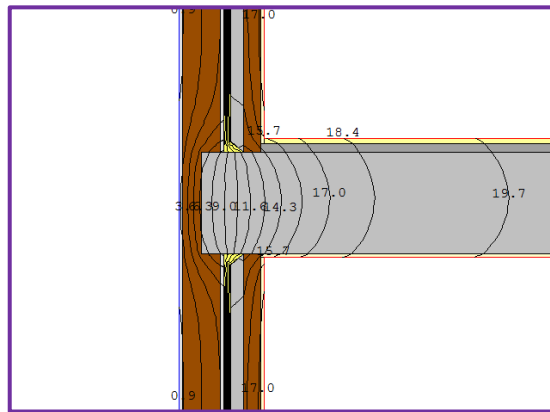


Fig. 8.1.2.4. Líneas isotermas. Supuesto 1 (Fuente propia)

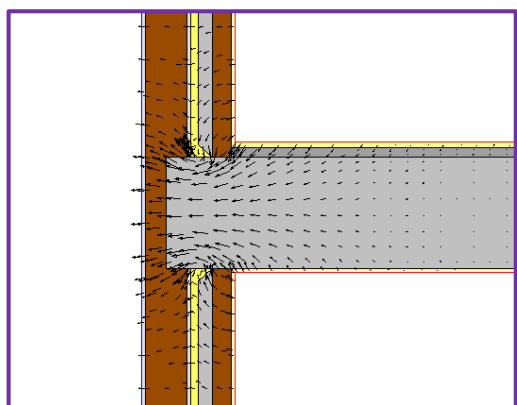


Fig. 8.1.2.5. Vectores de flujo. Supuesto 1 (Fuente propia)

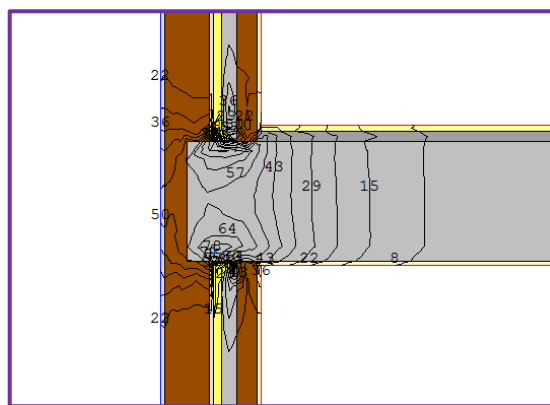


Fig. 8.1.2.6. Líneas de magnitud de flujo de calor. Supuesto 1 (Fuente propia)

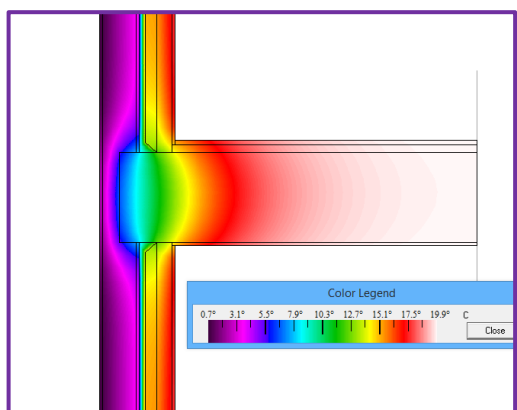


Fig. 8.1.2.7. Mapa de color de temperatura. Supuesto 1 (Fuente propia)

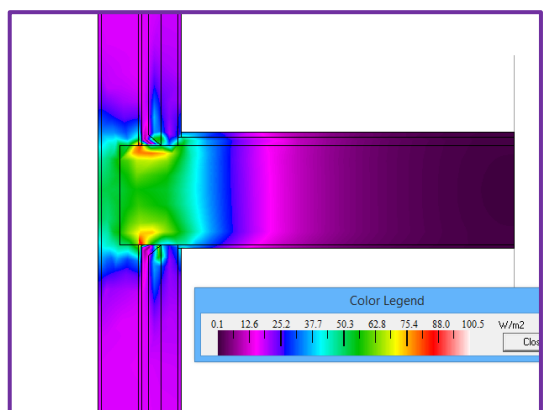


Fig. 8.1.2.8. Mapa de color de la magnitud del flujo. Supuesto 1 (Fuente propia)



➤ Resultados numéricos

- Diferencia de temperatura: 16 °C (Fig. 8.1.2.9. en azul)
- Longitud:  $L_{ext} = 2,35$  m,  $L_{int} = 2$  m (Fig. 8.1.2.9. en amarillo)
- Flujo de calor: 41,562 W (Fig. 8.1.2.9. en rojo)

	U-factor W/m2-K	delta T C	Length mm	Rotation		Heat Flow W
Exterior	1.1054	16.0	2350.01	N/A	Projected Y	41.5620
Edge	1.2988	16.0	2000.01	N/A	Projected Y	41.5619

Display:  
☒ U-factor  
☐ R-value

% Error Energy Norm: 6.01%

Export  
OK

Fig. 8.1.2.9. Resultados numéricos de THERM. Supuesto 1 (Fuente propia)

### III) Cálculo de la transmitancia térmica lineal del puente térmico.

En primer lugar, es necesario calcular las transmitancias térmicas (U) de los elementos de flanco anexo a los planos de corte, o lo que es lo mismo, la transmitancia térmica unidimensional de cada elemento que no se ve afectado por el puente térmico, es decir, al muro de fachada.

Para el cálculo de la transmitancia térmica (U) del muro, se han utilizado las ecuaciones (Ec. 4, Ec. 5 y Ec. 6) que se encuentran en el DA DB HE-1. Para el procesamiento de los datos se trabaja con entorno Excel.

Se comienza anotando los datos tanto de espesores (e) como la conductividad ( $\lambda$ ) de cada capa del muro (excepto la cámara de aire), que se recogieron en la Tab. 8.1.2.1.

Se continúa realizando el cálculo de la resistencia térmica (R) de cada capa mediante la (Ec. 6). Y para el caso de la cámara de aire, se ha utilizado la Tab. 4.3.2.2, y extrapolando según el espesor, se obtiene su resistencia térmica.

Los resultados se muestran a continuación en la Tab. 8.1.2.3.

CAPAS DEL MURO REVESTIDO	e (m)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
Enlucido de mortero monocapa	0,01	0,700	0,014
Fábrica de 1/2 pie de ladrillo perforado	0,11	0,595	0,185
Mortero de cemento 1900 Kg/m <sup>3</sup>	0,01	1,300	0,008
Espuma rígida de Poliuretano (PUR)	0,02	0,030	0,667
Cámara de aire	0,04	-	0,160
Fábrica de tabique de ladrillo hueco sencillo	0,05	0,444	0,113
Enlucido de yeso	0,01	0,400	0,025
<b>TOTAL</b>	<b>0,25</b>		<b>1,171</b>

Tab. 8.1.2.3. Cálculo de las resistencias de las capas. Supuesto 1 (Fuente propia)

A esta resistencia total calculada hay que sumarles las resistencias superficiales interior y exterior ( $R_{si}$  y  $R_{se}$ ). Consultando la Tab. 4.3.2.1. se consideran, para paramentos verticales con flujo horizontal, una resistencia térmica interior ( $R_{si}$ ) de 0,13 m<sup>2</sup>K/W y una resistencia térmica exterior ( $R_{se}$ ) de 0,04 m<sup>2</sup>K/W.

En la Tab. 8.1.2.4 se muestra la recopilación de datos y el cálculo de la resistencia térmica total ( $R_T$ ) mediante la (Ec. 5).

Resistencia total de las capas (R)	1,171	m <sup>2</sup> K/W
Resistencia térmica interior ( $R_{si}$ )	0,13	m <sup>2</sup> K/W
Resistencia térmica exterior ( $R_{se}$ )	0,04	m <sup>2</sup> K/W
<b>RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL (<math>R_T</math>)</b>	<b>1,341</b>	<b>m<sup>2</sup>K/W</b>

Tab. 8.1.2.4. Cálculo de la resistencia térmica total. Supuesto 1 (Fuente propia)

Finalmente, hay que aplicar la (Ec. 4) para el cálculo de la transmitancia térmica unidimensional (U), como se muestra en la Tab. 8.1.2.5.

RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL ( $R_T$ )	1,341	m <sup>2</sup> K/W
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA DEL MURO (U)</b>	<b>0,746</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>

Tab. 8.1.2.5. Cálculo de la transmitancia térmica del muro. Supuesto 1 (Fuente propia)

A continuación, se ha calculado la transmitancia térmica lineal del puente térmico mediante la (Ec. 7), para lo cual son necesarios los siguientes valores:

- El valor de flujo de calor obtenido en los resultados de cálculo con THERM que se muestra en la Fig. 8.1.2.9 en rojo.
- La diferencia de las temperaturas interior (21°C) y exterior (5°C) que se muestra en la Fig. 8.1.2.9 en azul.
- El valor del sumatorio de todas las transmitancias térmicas y las respectivas longitudes de los elementos a los que correspondan. Como el muro de fachada es igual a ambos lados del puente térmico, se utilizará la misma transmitancia

térmica ( $U$ ) calculada anteriormente en la Tab. 8.1.2.5, y la longitud exterior ( $L_{ext}$ ) o interior ( $L_{int}$ ) correspondiente (Fig. 8.1.2.9 en amarillo).

Finalmente, en la Tab. 8.1.2.6 se muestra la recopilación de valores y el cálculo de las distintas transmitancias mediante la (Ec. 7), obteniendo así las transmitancias térmicas lineales exterior e interior del puente térmico.

SUPUESTO 1		
Transmitancia térmica del muro ( $U$ )	0,746	W/m <sup>2</sup> K
Diferencia de temperaturas ( $\theta_i - \theta_e$ )	16,000	°C
Longitud exterior ( $L_{ext}$ )	2,350	m
Longitud interior ( $L_{int}$ )	2,000	m
Flujo de calor ( $\Phi$ )	41,562	W
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EXTERIOR (<math>\psi_{ext}</math>)</b>	<b>0,845</b>	<b>W/mK</b>
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL INTERIOR (<math>\psi_{int}</math>)</b>	<b>1,106</b>	<b>W/mK</b>

Tab. 8.1.2.6. Cálculo de la transmitancia térmica lineal. Supuesto 1 (Fuente propia)

#### IV) Cálculo del riesgo de condensaciones superficiales.

El Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB HE-3 indica que, para conocer el riesgo de condensaciones y aparición de moho, es necesario comparar dos factores adimensionales: el factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ) y el factor de temperatura útil sobre la superficie interior ( $f_{Rsi,min}$ ).

En primer lugar, es necesario obtener el valor de temperatura superficial interior mínima ( $\theta_{si}$ ) que aporta THERM (Fig. 8.1.2.10).

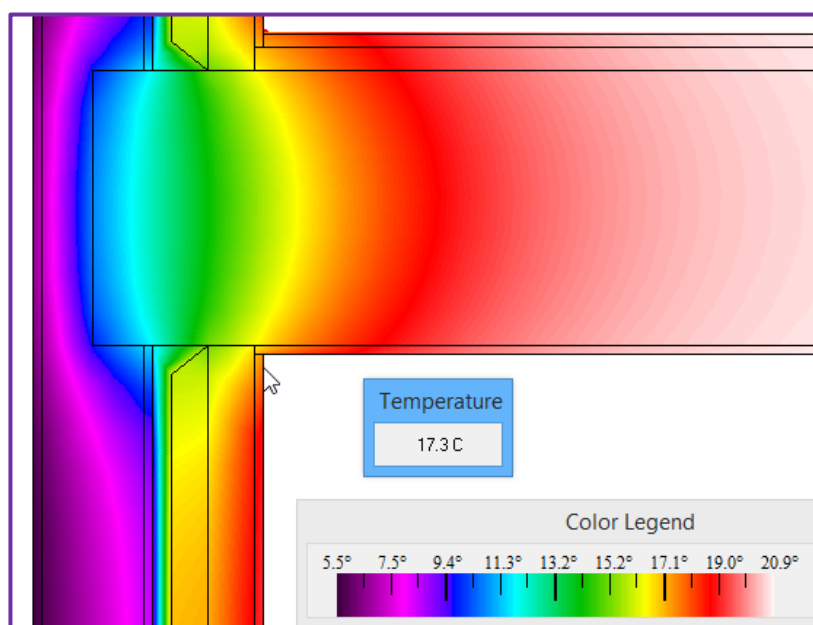


Fig. 8.1.2.10. Temperatura superficial interior mínima. Supuesto 1 (Fuente propia)

Para el cálculo del factor de temperatura superficial interior ( $f_{Rsi}$ ) se han utilizado los siguientes valores:

- La temperatura superficial interior mínima: 17,3 °C (Fig. 8.1.2.10)
- La temperatura de ambiente interior: 21 °C
- La temperatura de ambiente exterior: 5 °C

A continuación, en la Tab. 8.1.2.7 se muestra la recopilación de valores y el cálculo del factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ) mediante la (Ec. 9).

SUPUESTO 1		
Temperatura interior ( $\theta_i$ )	21,000	°C
Temperatura exterior ( $\theta_e$ )	5,000	°C
Temperatura superficial interior mínima ( $\theta_{si}$ )	17,300	°C
<b>FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR (<math>f_{Rsi}</math>)</b>	<b>0,865</b>	

Tab. 8.1.2.7. Cálculo del factor de temperatura de la superficie interior. Supuesto 1 (Fuente propia)

En segundo lugar, hay que conocer el factor de temperatura útil sobre la superficie interior ( $f_{Rsi,min}$ ), valor que se obtiene a partir de la Tab. 8.1.2.8., teniendo en cuenta que:

Como el edificio está situado en Sevilla capital, tiene una zona climática B según la tabla D.1 del apéndice del CTE DB-HE-1.

Según la norma UNE-EN ISO 13788:2016 la categoría del espacio será la clase de higrometría 3 o inferior al tratarse de un espacio en los que no se prevé una alta producción de humedad.

Zona climática de invierno						
Categoría del espacio	$\alpha$	A	B	C	D	E
Clase de higrometría 5	0,70	0,80	0,80	0,80	0,90	0,90
Clase de higrometría 4	0,56	0,66	0,66	0,69	0,75	0,78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0,42	0,50	0,52	0,56	0,61	0,64

Tab. 8.1.2.8. Factor de temperatura útil sobre la superficie interior (Tabla 1 del DA DB-HE-2)

Finalmente, para saber si hay riesgo de condensaciones y formación de moho, se comprueba si se cumple la condición de la (Ec. 8).

$$f_{Rsi} = 0,865 > f_{Rsi,min} = 0,52 \quad (8)$$

En este caso sí se cumple la condición de la (Ec. 8), por lo que:

**NO se prevé la producción de condensaciones ni riesgo de formación de moho.**

### 8.1.3.- Supuesto 2. Puente térmico en frente de forjado con incorporación de la “Patente nº1”

<b>Título</b>	Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas.
<b>Solicitada</b>	Universidad de Sevilla.
<b>Inventores</b>	Ortega López, Humberto; Moyano Campos, Juan José; Marín García, David; Rico Delgado, Fernando; Moreno Muñoz, Antonio
<b>Código</b>	2 537 251.

#### I) Descripción del supuesto y análisis de sus elementos.

Este supuesto contempla el cálculo del puente térmico en la zona de frente de forjado de una fachada concreta del edificio objeto de estudio, al que se le ha incorporado la “Patente nº1. Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas”.

La fachada utilizada es la misma descrita en el supuesto anterior (Fig. 8.1.2.1).

En este supuesto, al incorporarse una patente, el detalle de unión de la fachada con el forjado es el siguiente (Fig. 8.1.3.1).

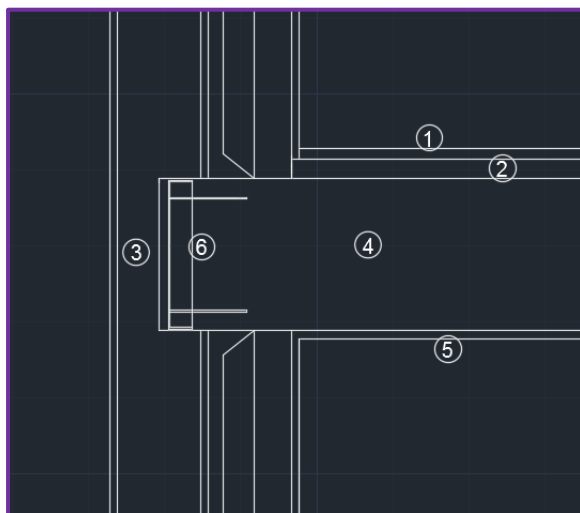


Fig. 8.1.3.1. Incorporación de “Patente nº1” al frente de forjado (Fuente propia)

- 1) Solería cerámica de 1,5 cm de espesor.
- 2) Capa de nivelación de hormigón en masa HM-20 de 2,5 cm de espesor.
- 3) Emparchado de ladrillo perforado de 5,5 cm
- 4) Forjado de hormigón armado HA-25 de 30 cm de canto.
- 5) Enlucido de yeso de 1 cm de espesor.
- 6) Sistema AFF2 de la patente con aislamiento de 3 cm de espesor.

La unión del forjado y la fachada es la misma que en el supuesto anterior al tratarse de la misma fachada. En este caso la diferencia reside en la inclusión de uno de los sistemas que aporta esta patente, en concreto el sistema AFF2.

El sistema AFF2 está formado por un soporte exterior de chapa al que se le une,

mediante unos conectores metálicos, una placa de aislamiento térmico. Este sistema se fija, antes del hormigonado, a las vigas perimetrales del forjado por medio de los conectores metálicos, quedando así completamente integrado en la estructura.

En la patente se indica que el material de la placa de aislamiento puede estar constituida por poliestireno extrusionado o expandido, poliuretano, lana de roca, o cualquier otro aislamiento que se pueda conformar en planchas de espesores en torno a los dos o seis centímetros. De todas esas opciones se ha optado por elegir un aislamiento a base de poliestireno expandido de 3 cm de espesor.

## II) Procedimiento de trabajo en THERM.

### a) Modelado geométrico.

Al tratarse del mismo detalle, la realización del modelo es exactamente igual que la realizada en el supuesto anterior, con la salvedad de la incorporación del “sistema AFF2” de la “Patente nº1. Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas”.

### b) Asignación de materiales.

Con la librería de materiales previamente cargada en el software THERM, se asignará a cada polígono los distintos materiales que componen el modelo del supuesto.

Se ha buscado en la librería de THERM aquellos materiales que son más parecidos a los originales en cuanto a conductividad térmica. A continuación, se muestra en la Tab.8.1.3.1 la asignación de los materiales de los que disponen la librería a cada capa del modelo.

CAPA DEL MODELO	MATERIAL ASIGNADO EN THERM	$\lambda$ (W/mK)
Enlucido de mortero monocapa	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1250 < d < 1450$	0,700
Fábrica de 1/2 pie de ladrillo perforado	Fábrica de ½ pie LP métrico o catalán $60 \text{ mm} < G < 80 \text{ mm}$	0,595
Mortero de cemento 1900 Kg/m <sup>3</sup>	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1800 < d < 2000$	1,300
Espuma rígida de Poliuretano (PUR)	PUR Plancha con HFC o Pentano y Rev. Permeable a gases [0,03 w/mK]	0,030
Cámara de aire	Cámara de aire sin ventilar	-
Fábrica de tabique de ladrillo hueco sencillo	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm]	0,444
Enlucido de yeso	Enlucido de yeso $d < 1000$	0,400

Forjado HA-25	Forjado con capa de compresión - Canto 300 mm	1,579
Capa de nivelación	Hormigón en masa 2000 < d < 2300	1,650
Solería cerámica	Plaqueta o baldosa cerámica	1,000
Sistema AFF2	EPS Poliestireno Expandido [0,029 W/mK]	0,029

Tab. 8.1.3.1. Asignación de materiales. Supuesto 2 (Fuente propia)

## c) Condiciones de contorno.

Las condiciones de contorno asignadas a la fachada son las mismas que en el supuesto anterior.

## d) Obtención de resultados.

## ➤ Resultados visuales

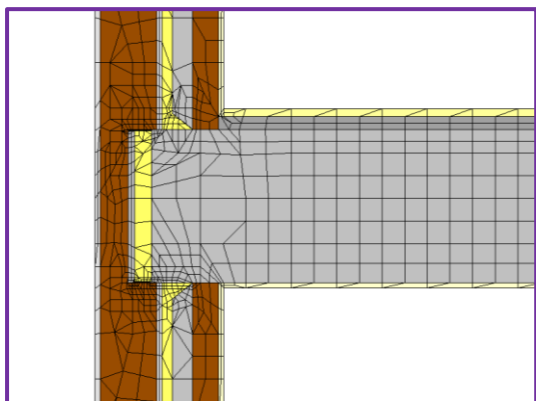


Fig. 8.1.3.2. Malla de elementos finitos. Supuesto 2 (Fuente propia)

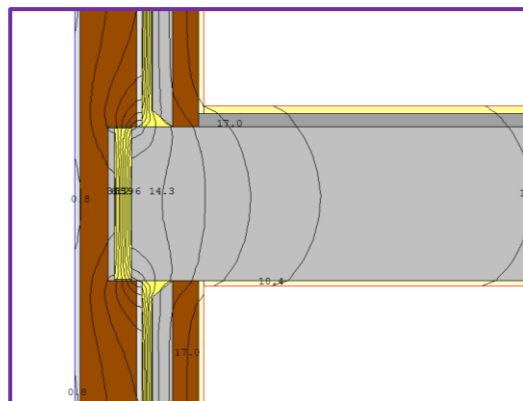


Fig. 8.1.3.3. Líneas isotermas. Supuesto 2 (Fuente propia)

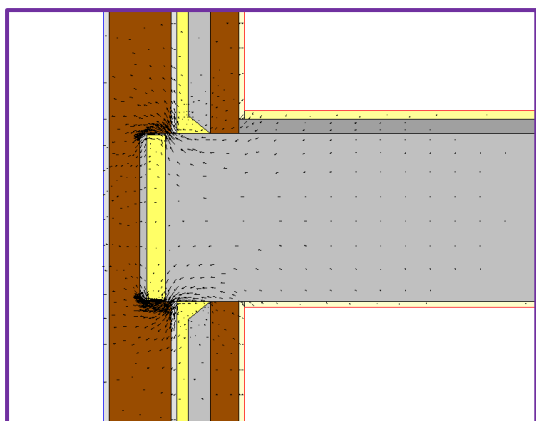


Fig. 8.1.3.4. Vectores de flujo. Supuesto 2 (Fuente propia)

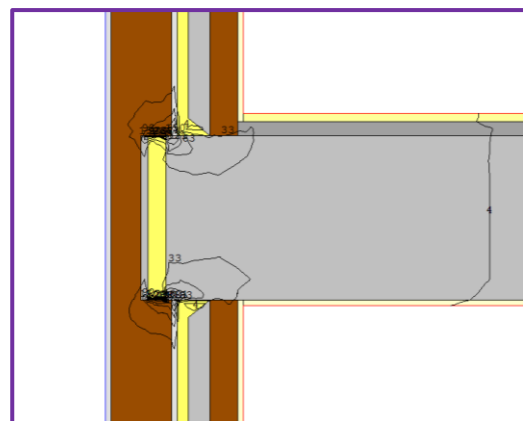


Fig. 8.1.3.5. Líneas de magnitud de flujo de calor. Supuesto 2 (Fuente propia)



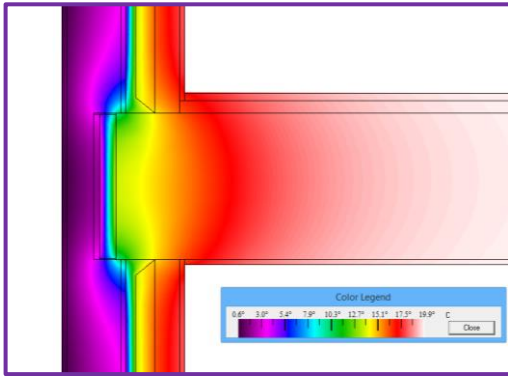


Fig. 8.1.3.6. Mapa de color de temperatura. Supuesto 2 (Fuente propia)

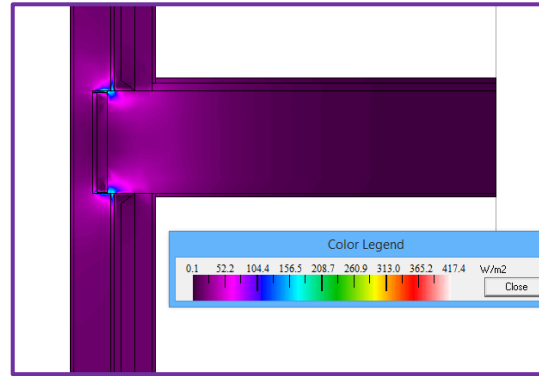


Fig. 8.1.3.7. Mapa de color de la magnitud del flujo. Supuesto 2 (Fuente propia)

### ➤ Resultados numéricos

- Diferencia de temperatura: 16 °C (Fig. 8.1.3.8. en azul)
- Longitud:  $L_{ext} = 2,35$  m,  $L_{int} = 2$  m (Fig. 8.1.3.8. en amarillo)
- Flujo de calor: 31,703 W (Fig. 8.1.3.8. en rojo)

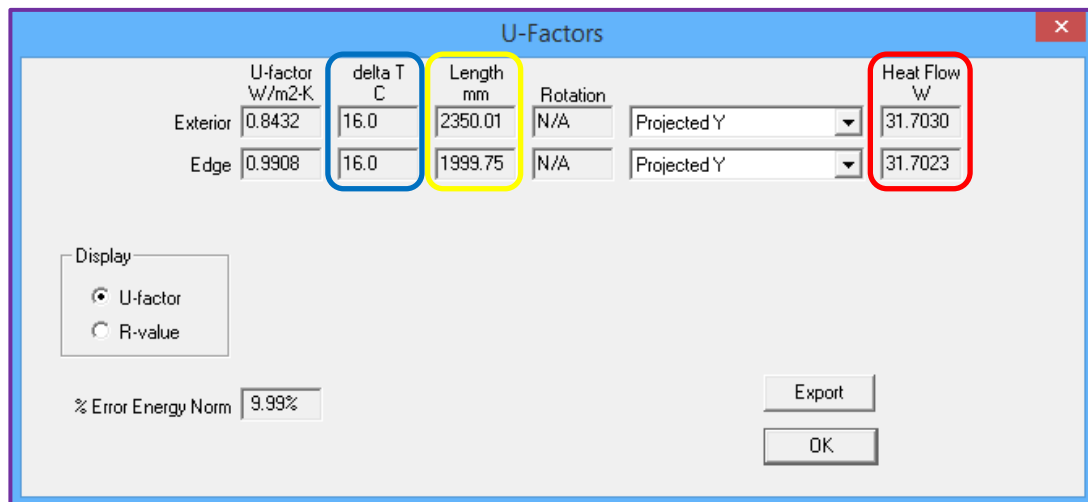


Fig. 8.1.3.8. Resultados numéricos de THERM. Supuesto 2 (Fuente propia)

### III) Cálculo de la transmitancia térmica lineal del puente térmico.

En primer lugar, es necesario calcular las transmitancias térmicas (U) de los elementos de flanco anexo a los planos de corte, o lo que es lo mismo, la transmitancia térmica unidimensional de cada elemento que no se ve afectado por el puente térmico, en este caso se refiere al muro de fachada.

Como el muro elegido es el mismo para todos los supuestos, se ha utilizado la transmitancia térmica ( $U$ ) calculada anteriormente en la Tab. 8.1.2.5.

A continuación, se ha calculado la transmitancia térmica lineal del puente térmico mediante la (Ec. 7), para lo cual son necesarios los siguientes valores:

- El valor de flujo de calor obtenido en los resultados de cálculo con THERM que se muestra en la Fig. 8.1.3.8 en rojo.
- La diferencia de las temperaturas interior ( $21^{\circ}\text{C}$ ) y exterior ( $5^{\circ}\text{C}$ ) que se muestra en la Fig. 8.1.3.8 en azul.
- El valor del sumatorio de todas las transmitancias térmicas y las respectivas longitudes de los elementos a los que correspondan. Como el muro de fachada es igual a ambos lados del puente térmico, se utilizará la misma transmitancia térmica ( $U$ ) calculada anteriormente en la Tab. 8.1.2.5, y la longitud exterior ( $L_{\text{ext}}$ ) o interior ( $L_{\text{int}}$ ) correspondiente (Fig. 8.1.3.8 en amarillo).

Finalmente, en la Tab. 8.1.3.2 se muestra la recopilación de valores y el cálculo de las distintas transmitancias mediante la (Ec. 7), obteniendo así las transmitancias térmicas lineales exterior e interior del puente térmico.

<b>SUPUESTO 2</b>		
Transmitancia térmica del muro ( $U$ )	0,746	$\text{W/m}^2\text{K}$
Diferencia de temperaturas ( $\theta_i - \theta_e$ )	16,000	$^{\circ}\text{C}$
Longitud exterior ( $L_{\text{ext}}$ )	2,350	m
Longitud interior ( $L_{\text{int}}$ )	2,000	m
Flujo de calor ( $\Phi$ )	31,703	W
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EXTERIOR (<math>\psi_{\text{ext}}</math>)</b>	<b>0,229</b>	<b>W/mK</b>
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL INTERIOR (<math>\psi_{\text{int}}</math>)</b>	<b>0,490</b>	<b>W/mK</b>

Tab. 8.1.3.2. Cálculo de la transmitancia térmica lineal. Supuesto 2 (Fuente propia)

#### IV) Cálculo del riesgo de condensaciones superficiales.

El Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB HE-3 indica que, para conocer el riesgo de condensaciones y aparición de moho, es necesario comparar dos factores adimensionales: el factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{\text{Rsi}}$ ) y el factor de temperatura útil sobre la superficie interior ( $f_{\text{Rsi,min}}$ ).

En primer lugar, es necesario obtener el dato de temperatura superficial interior mínima ( $\theta_{\text{si}}$ ) que aporta THERM (Fig. 8.1.3.9).

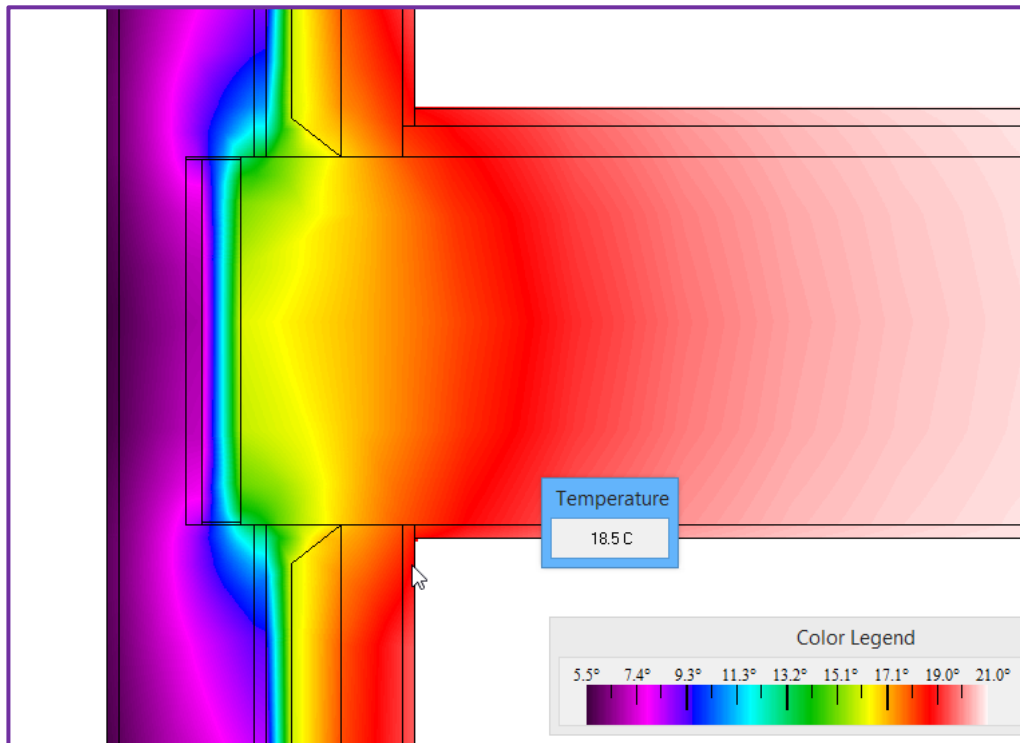


Fig. 8.1.3.9. Temperatura superficial interior mínima. Supuesto 2 (Fuente propia)

Para el cálculo del factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ) se han utilizado los siguientes valores:

- La temperatura superficial interior mínima: 18.5 °C (Fig. 8.1.3.9)
- La temperatura de ambiente interior: 21 °C
- La temperatura de ambiente exterior: 5 °C

A continuación, en la Tab. 8.1.3.3 se muestra la recopilación de valores y el cálculo del factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ) mediante la (Ec. 9).

SUPUESTO 2		
Temperatura interior ( $\theta_i$ )	21,000	°C
Temperatura exterior ( $\theta_e$ )	5,000	°C
Temperatura superficial interior mínima ( $\theta_{si}$ )	18,500	°C
<b>FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR (<math>f_{Rsi}</math>)</b>	<b>0,925</b>	

Tab. 8.1.3.3. Cálculo del factor de temperatura de la superficie interior. Supuesto 2 (Fuente propia)

En segundo lugar, hay que conocer factor de temperatura útil sobre la superficie interior ( $f_{Rsi,min}$ ). Como la zona climática y la categoría de espacio no varían de un supuesto a otro, se ha obtenido el mismo valor que en el supuesto anterior (Tab. 8.1.2.8)

Finalmente, para saber si hay riesgo de condensaciones y formación de moho, se comprueba si se cumple la condición de la (Ec. 8).

$$f_{Rsi} = 0,925 > f_{Rsi_{\min}} = 0,52 \quad (8)$$

En este caso sí se cumple la condición de la (Ec. 8), por lo que:

**NO se prevé la producción de condensaciones ni riesgo de formación de moho.**

### 8.1.4.- Supuesto 3. Puente térmico en frente de forjado con incorporación de la “Patente n°2”

**Título** Recubrimiento para cantos de forjados.

**Solicitada** Optimer System S.A.

**Inventor** López Muñoz, Rufino.

**Código** 2 387 165

#### I) Descripción del supuesto y análisis de sus elementos.

Este supuesto contempla el cálculo del puente térmico en la zona de frente de forjado de una fachada concreta del edificio objeto de estudio, al que se le ha incorporado la “Patente n°2. Recubrimiento para cantos de forjados”.

La fachada utilizada es la misma descrita en los supuestos anteriores (Fig. 8.1.2.1).

En este supuesto, al incorporarse una patente, el detalle de unión de la fachada con el forjado es el siguiente:

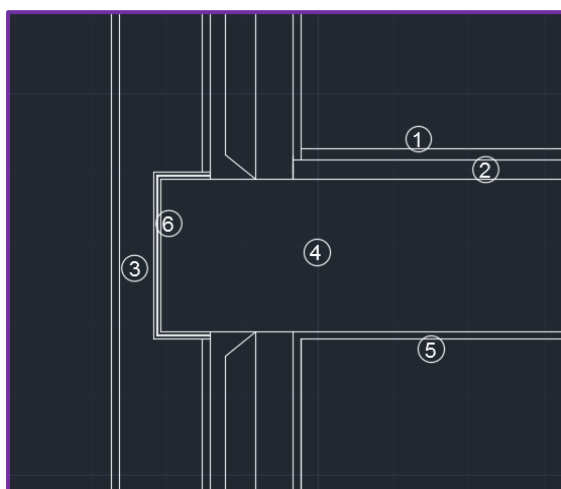


Fig. 8.1.4.1. Incorporación de “Patente n°2” al frente de forjado (Fuente propia)

- 1) Solería cerámica de 1,5 cm de espesor.
- 2) Capa de nivelación de hormigón en masa HM-20 de 2,5 cm de espesor.
- 3) Emparchado de ladrillo perforado de 5,5 cm
- 4) Forjado de hormigón armado HA-25 de 30 cm de canto.
- 5) Enlucido de yeso de 1 cm de espesor.
- 6) “Ejemplo 2” de la patente de 1 cm de espesor.

La unión del forjado y la fachada es la misma que en el supuesto anterior al tratarse de la misma fachada. En este caso la diferencia reside en la inclusión de uno de los ejemplos que aporta esta patente, en concreto el “Ejemplo 2”.

El “Ejemplo 2” está formado por dos capas de polietileno de alta densidad FR (autoextingible) de 4 mm de espesor cada una, disponiéndose entre las dos capas una lámina de aluminio puro (100%). La cara interior de este recubrimiento es la que está en

contacto con el forjado, mientras que en la exterior se coloca una malla de revoco donde se agarra el mortero que estará en contacto con la fachada. Se sirve de unas fijaciones para la unión de todos estos elementos. En la patente no se especifica el espesor de la lámina de aluminio puro (100%), por lo que se ha supuesto un espesor de 1,5 mm.

## II) Procedimiento de trabajo en THERM.

### a) Modelado geométrico.

Al tratarse del mismo detalle, la realización del modelo es exactamente igual que la realizada en el supuesto anterior, con la salvedad de la incorporación del “ejemplo 2” de la “Patente nº2. Recubrimiento para cantos de forjados”.

### b) Asignación de materiales.

Con la librería de materiales previamente cargada en el software THERM, se ha asignado a cada polígono los distintos materiales que componen el modelo del supuesto.

Se ha buscado en la librería de THERM aquellos materiales que son más parecidos a los originales en cuanto a conductividad térmica. A continuación, se muestra en la Tab. 8.1.4.1 la asignación de los materiales de los que disponen la librería a cada capa del modelo.

CAPA DEL MODELO	MATERIAL ASIGNADO EN THERM	$\lambda$ (W/mK)
Enlucido de mortero monocapa	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1250 < d < 1450$	0,700
Fábrica de 1/2 pie de ladrillo perforado	Fábrica de ½ pie LP métrico o catalán $60 \text{ mm} < G < 80 \text{ mm}$	0,595
Mortero de cemento 1900 Kg/m <sup>3</sup>	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1800 < d < 2000$	1,300
Espuma rígida de Poliuretano (PUR)	PUR Plancha con HFC o Pentano y Rev. Permeable a gases [0,03 w/mK]	0,030
Cámara de aire	Cámara de aire sin ventilar	-
Fábrica de tabique de ladrillo hueco sencillo	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm]	0,444
Enlucido de yeso	Enlucido de yeso $d < 1000$	0,400
Forjado HA-25	Forjado con capa de compresión - Canto 300 mm	1,579
Capa de nivelación	Hormigón en masa $2000 < d < 2300$	1,650
Solería cerámica	Plaqueta o baldosa cerámica	1,000
Sistema AFF2	EPS Poliestireno Expandido [0,029 W/mK]	0,029
Aislante de polietileno	Polietileno alta densidad [HDPE]	0,500
Lamina de aluminio	Aluminio	230,000

Tab. 8.1.4.1. Asignación de materiales. Supuesto 3 (Fuente propia)

c) Condiciones de contorno.

Las condiciones de contorno asignadas a la fachada son las mismas que en los supuestos anteriores.

d) Obtención de resultados.

➤ Resultados visuales

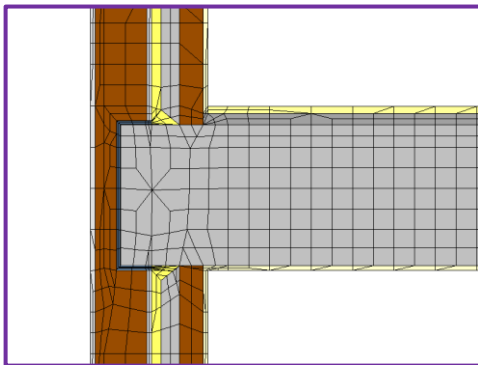


Fig. 8.1.4.2. Malla de elementos finitos. Supuesto 3 (Fuente propia)

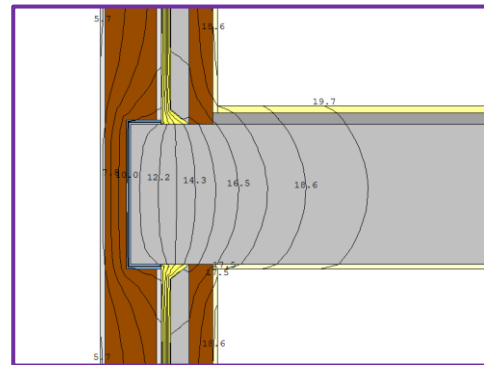


Fig. 8.1.4.3. Líneas isotermas. Supuesto 3 (Fuente propia)

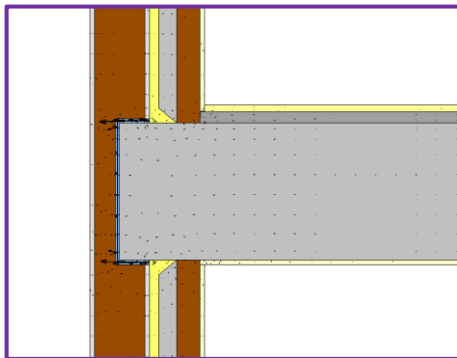


Fig. 8.1.4.4. Vectores de flujo. Supuesto 3 (Fuente propia)

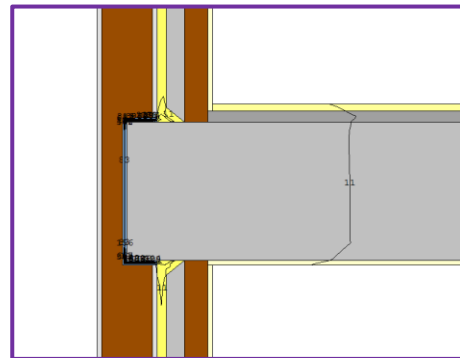


Fig. 8.1.4.5. Líneas de magnitud de flujo de calor. Supuesto 3 (Fuente propia)



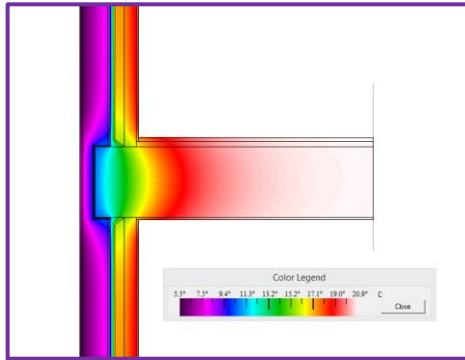


Fig. 8.1.4.6. Mapa de color de temperatura. Supuesto 3  
(Fuente propia)

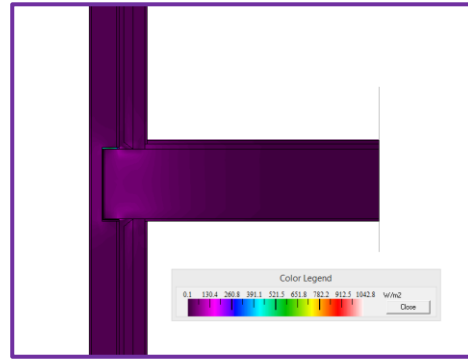


Fig. 8.1.4.7. Mapa de color de la magnitud del flujo.  
Supuesto 3 (Fuente propia)

➤ Resultados numéricos

- Diferencia de temperatura: 16 °C (Fig. 8.1.4.8. en azul)
- Longitud:  $L_{ext} = 2,35$  m,  $L_{int} = 2$  m (Fig. 8.1.4.8. en amarillo)
- Flujo de calor: 41,828 W (Fig. 8.1.4.8. en rojo)

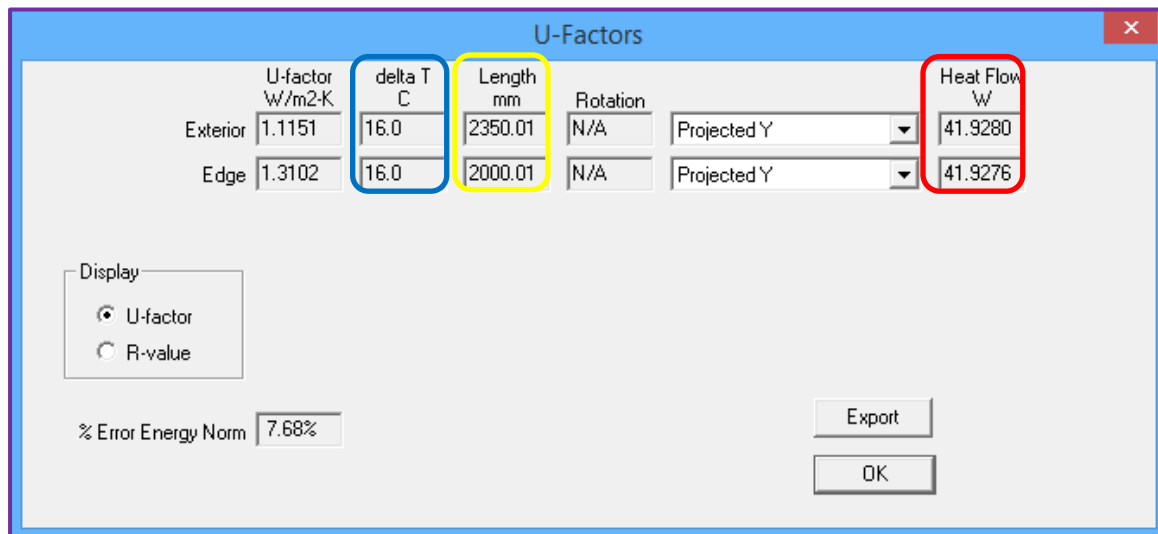


Fig. 8.1.4.8. Resultados del cálculo del flujo de calor. Supuesto 3 (Fuente propia)

III) Cálculo de la transmitancia térmica lineal del puente térmico.

En primer lugar, es necesario calcular las transmitancias térmicas (U) de los elementos de flanco anexo a los planos de corte, o lo que es lo mismo, la transmitancia térmica unidimensional de cada elemento que no se ve afectado por el puente térmico, en este caso se refiere al muro de fachada.

Como el muro elegido es el mismo para todos los supuestos, se ha utilizado la transmitancia térmica ( $U$ ) calculada anteriormente en la Tab. 8.1.2.5.

A continuación, se ha calculado la transmitancia térmica lineal del puente térmico mediante la (Ec. 7), para lo cual son necesarios los siguientes valores:

- El valor de flujo de calor obtenido en los resultados de cálculo con THERM que se muestra en la Fig. 8.1.4.8 en rojo.
- La diferencia de las temperaturas interior ( $21^{\circ}\text{C}$ ) y exterior ( $5^{\circ}\text{C}$ ) que se muestra en la Fig. 8.1.4.8 en azul.
- El valor del sumatorio de todas las transmitancias térmicas y las respectivas longitudes de los elementos a los que correspondan. Como el muro de fachada es igual a ambos lados del puente térmico, se utilizará la misma transmitancia térmica ( $U$ ) calculada anteriormente en la Tab. 8.1.2.5, y la longitud exterior ( $L_{\text{ext}}$ ) o interior ( $L_{\text{int}}$ ) correspondiente (Fig. 8.1.4.8 en amarillo).

Finalmente, en la Tab. 8.1.4.2 se muestra la recopilación de valores y el cálculo de las distintas transmitancias mediante la (Ec. 7), obteniendo así las transmitancias térmicas lineales exterior e interior del puente térmico.

SUPUESTO 3		
Transmitancia térmica del muro ( $U$ )	0,746	$\text{W/m}^2\text{K}$
Diferencia de temperaturas ( $\theta_i - \theta_e$ )	16,000	$^{\circ}\text{C}$
Longitud exterior ( $L_{\text{ext}}$ )	2,350	m
Longitud interior ( $L_{\text{int}}$ )	2,000	m
Flujo de calor ( $\Phi$ )	41,928	W
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EXTERIOR (<math>\psi_{\text{ext}}</math>)</b>	<b>0,868</b>	<b>W/mK</b>
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL INTERIOR (<math>\psi_{\text{int}}</math>)</b>	<b>1,129</b>	<b>W/mK</b>

Tab. 8.1.4.2. Cálculo de la transmitancia térmica lineal. Supuesto 3 (Fuente propia)

#### IV) Cálculo del riesgo de condensaciones superficiales.

El Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB HE-3 indica que, para conocer el riesgo de condensaciones y aparición de moho, es necesario comparar dos factores adimensionales: el factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{\text{Rsi}}$ ) y el factor de temperatura útil sobre la superficie interior ( $f_{\text{Rsi,min}}$ ).

En primer lugar, es necesario obtener el dato de temperatura superficial interior mínima ( $\theta_{\text{si}}$ ) que aporta THERM (Fig. 8.1.4.9).

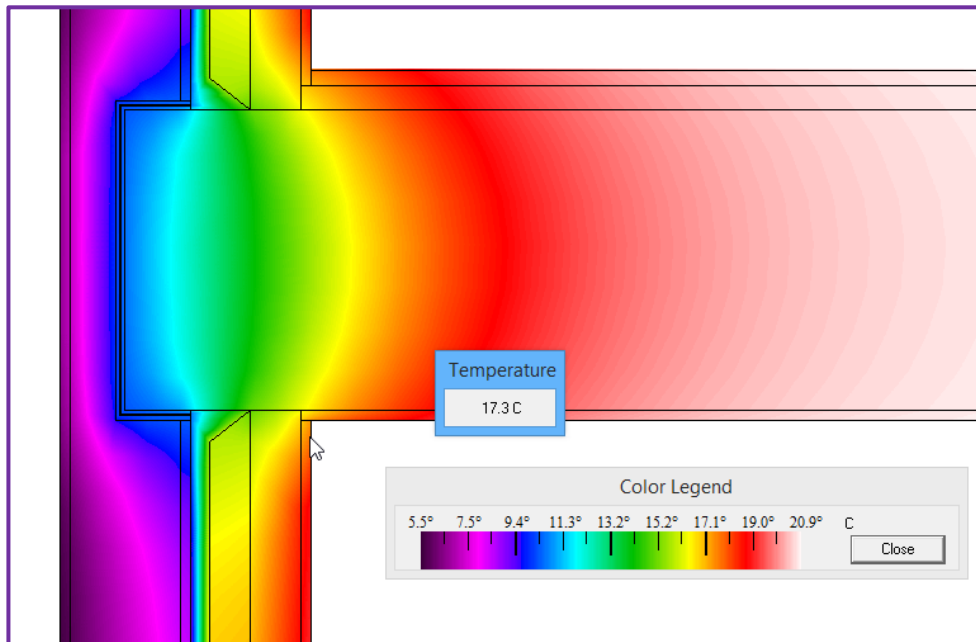


Fig. 8.1.4.9. Temperatura superficial interior mínima. Supuesto 3 (Fuente propia)

Para el cálculo del factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ) se han utilizado los siguientes valores:

- La temperatura superficial interior mínima: 17,3 °C (Fig. 8.1.4.9)
- La temperatura de ambiente interior: 21 °C
- La temperatura de ambiente exterior: 5 °C

A continuación, en la Tab. 8.1.4.3 se muestra la recopilación de valores y el cálculo del factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ) mediante la (Ec. 9).

SUPUESTO 3		
Temperatura interior ( $\theta_i$ )	21,000	°C
Temperatura exterior ( $\theta_e$ )	5,000	°C
Temperatura superficial interior mínima ( $\theta_{si}$ )	17,300	°C
<b>FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR (<math>f_{Rsi}</math>)</b>	<b>0,865</b>	

Tab. 8.1.4.3. Cálculo del factor de temperatura de la superficie interior. Supuesto 3 (Fuente propia)

En segundo lugar, hay que conocer factor de temperatura útil sobre la superficie interior ( $f_{Rsi,min}$ ). Como la zona climática y la categoría de espacio no varían de un supuesto a otro, se ha obtenido el mismo valor que en los supuestos anteriores (Tab. 8.1.2.8).

Finalmente, para saber si hay riesgo de condensaciones y formación de moho, se comprueba si se cumple la condición de la (Ec. 8).



$$f_{Rsi} = 0,865 > f_{Rsi_{\min}} = 0,52 \quad (8)$$

En este caso sí se cumple la condición de la (Ec. 8), por lo que:

**NO se prevé la producción de condensaciones ni riesgo de formación de moho.**

#### 8.1.5.- Supuesto 4. Puente térmico en frente de forjado con incorporación de la “Patente nº3”

<b>Título</b>	“Abschalungselement” Elemento de encofrado.
<b>Solicitada</b>	EGCO AG, Saanen, CH.
<b>Inventor</b>	Egger, Walter, Saanen, CH.
<b>Código</b>	DE 35 42 651.

##### I) Descripción del supuesto y análisis de sus elementos.

Este supuesto contempla el cálculo del puente térmico en la zona de frente de forjado de una fachada concreta del edificio objeto de estudio, al que se le ha incorporado la “Patente nº3. ‘Abschalungselement’. Elemento de encofrado”.

La fachada utilizada es la misma descrita en los supuestos anteriores (Fig. 8.1.2.1).

En este supuesto, al incorporarse una patente, el detalle de unión de la fachada con el forjado es el siguiente (Fig. 8.1.5.1).

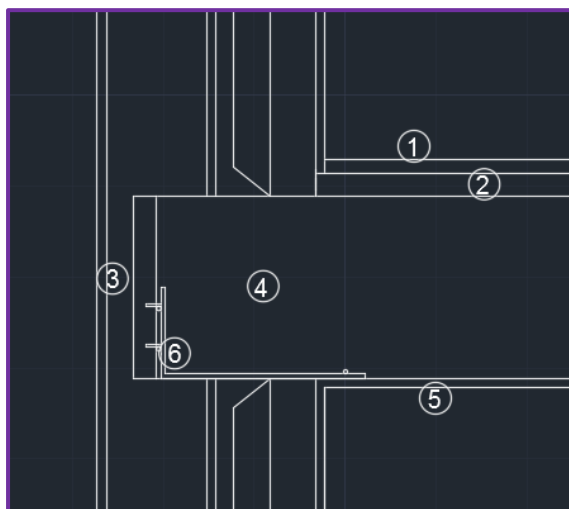


Fig. 8.1.5.1. Incorporación de “Patente nº3” al frente de forjado (Fuente propia)

- 1) Solería cerámica de 1,5 cm de espesor.
- 2) Capa de nivelación de hormigón en masa HM-20 de 2,5 cm de espesor.
- 3) Emparchado de ladrillo perforado de 5,5 cm.
- 4) Forjado de hormigón armado HA-25 de 30 cm de canto.
- 5) Enlucido de yeso de 1 cm de espesor.
- 6) Elemento de encofrado de 2,5 cm de espesor

La unión del forjado y la fachada es la misma que en los supuestos anteriores al tratarse de la misma fachada. En este caso la diferencia reside en la inclusión del elemento de encofrado de la patente.

Este elemento de encofrado está compuesto por una estructura a base de perfiles metálicos en ángulo recto que sirven de soporte y de apoyo a un panel aislante. Todo este conjunto actúa como un encofrado no recuperable para el forjado.

En la patente no consta ningún material específico para el panel aislante, ni ningún espesor, por lo que se ha optado por elegir un panel de poliestireno expandido de 2,5 cm de espesor.

## II) Procedimiento de trabajo en THERM.

### a) Modelado geométrico.

Al tratarse del mismo detalle, la realización del modelo es exactamente igual que la realizada en el supuesto anterior, con la salvedad de la incorporación del elemento de encofrado de la “Patente nº3. ‘Abschalungselement’. Elemento de encofrado”.

### b) Asignación de materiales.

Con la librería de materiales previamente cargada en el software THERM, se ha asignado a cada polígono los distintos materiales que componen el modelo del supuesto.

Se ha buscado en la librería de THERM aquellos materiales que son más parecidos a los originales en cuanto a conductividad térmica. A continuación, se muestra en la Tab. 8.1.5.1 la asignación de los materiales de los que disponen la librería a cada capa del modelo.

CAPA DEL MODELO	MATERIAL ASIGNADO EN THERM	$\lambda$ (W/mK)
Enlucido de mortero monocapa	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1250 < d < 1450$	0,700
Fábrica de 1/2 pie de ladrillo perforado	Fábrica de ½ pie LP métrico o catalán $60 \text{ mm} < G < 80 \text{ mm}$	0,595
Mortero de cemento 1900 Kg/m <sup>3</sup>	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1800 < d < 2000$	1,300
Espuma rígida de Poliuretano (PUR)	PUR Plancha con HFC o Pentano y Rev. Permeable a gases [0,03 w/mK]	0,030
Cámara de aire	Cámara de aire sin ventilar	-
Fábrica de tabique de ladrillo hueco sencillo	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm]	0,444
Enlucido de yeso	Enlucido de yeso $d < 1000$	0,400
Forjado HA-25	Forjado con capa de compresión - Canto 300 mm	1,579
Capa de nivelación	Hormigón en masa $2000 < d < 2300$	1,650
Solería cerámica	Plaqueta o baldosa cerámica	1,000
Elemento de encofrado	EPS Poliestireno Expandido [0,029 W/mK]	0,029

Tab. 8.1.5.1. Asignación de materiales. Supuesto 4 (Fuente propia)

c) Condiciones de contorno.

Las condiciones de contorno asignadas a la fachada son las mismas que en el supuesto anterior.

d) Obtención de resultados.

➤ Resultados visuales.

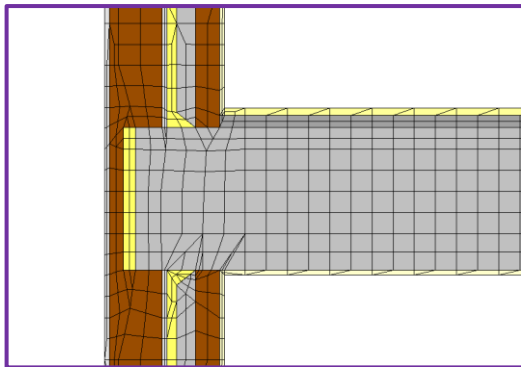


Fig. 8.1.5.2. Malla de elementos finitos. Supuesto 4 (Fuente propia)

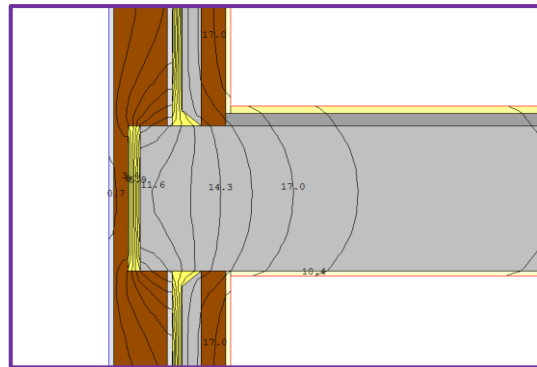


Fig. 8.1.5.3. Líneas isotermas. Supuesto 4 (Fuente propia)

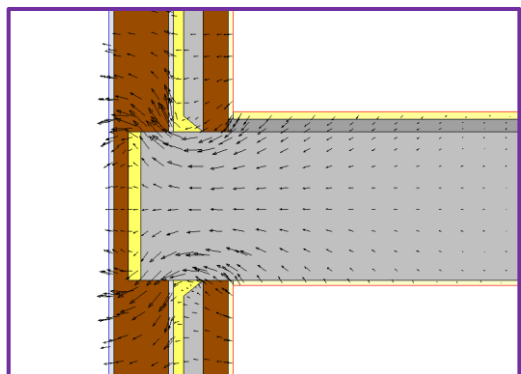


Fig. 8.1.5.4. Vectores de flujo. Supuesto 4 (Fuente propia)

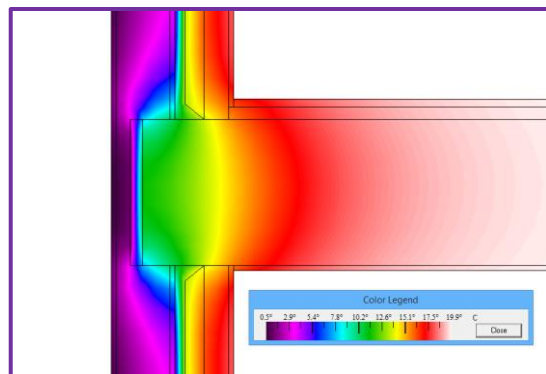


Fig. 8.1.5.6. Mapa de color de temperatura. Supuesto 4 (Fuente propia)

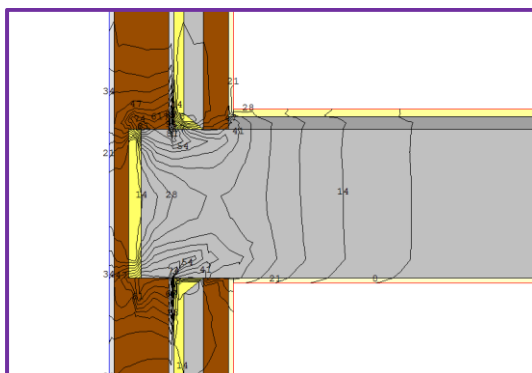


Fig. 8.1.5.5. Líneas de magnitud de flujo de calor. Supuesto 4 (Fuente propia)

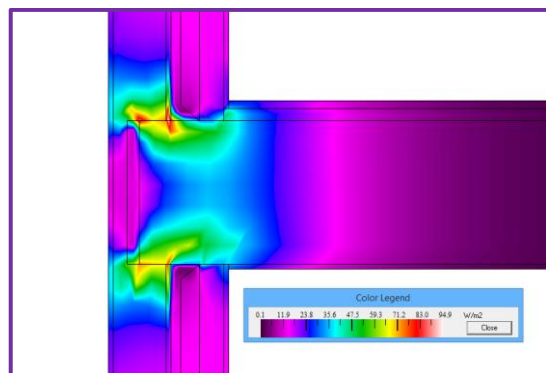


Fig. 8.1.5.7. Mapa de color de la magnitud del flujo. Supuesto 4 (Fuente propia)



➤ Resultados numéricos

- Diferencia de temperatura: 16 °C (Fig. 8.1.5.8. en azul)
- Longitud:  $L_{ext} = 2,35$  m,  $L_{int} = 2$  m (Fig. 8.1.5.8. en amarillo)
- Flujo de calor: 33,142 W (Fig. 8.1.5.8. en rojo)

	U-factor W/m <sup>2</sup> -K	delta T C	Length mm	Rotation		Heat Flow W
Exterior	0.8814	16.0	2350.01	N/A	Projected Y	33.1420
Edge	1.0357	16.0	2000.01	N/A	Projected Y	33.1425

Display:  
☒ U-factor  
☐ R-value

% Error Energy Norm: 8.94%

Export  
OK

Fig. 8.1.5.8. Resultados del cálculo del flujo de calor. Supuesto 4 (Fuente propia)

### III) Cálculo de la transmitancia térmica lineal del puente térmico.

En primer lugar, es necesario calcular las transmitancias térmicas (U) de los elementos de flanco anexo a los planos de corte, o lo que es lo mismo, la transmitancia térmica unidimensional de cada elemento que no se ve afectado por el puente térmico, en este caso se refiere al muro de fachada.

Como el muro elegido es el mismo para todos los supuestos, se ha utilizado la transmitancia térmica (U) calculada anteriormente en la Tab. 8.1.2.5.

A continuación, se ha calculado la transmitancia térmica lineal del puente térmico mediante la (Ec. 7), para lo cual son necesarios los siguientes valores:

- El valor de flujo de calor obtenido en los resultados de cálculo con THERM que se muestra en la Fig. 8.1.5.8 en rojo.
- La diferencia de las temperaturas interior (21°C) y exterior (5°C) que se muestra en la Fig. 8.1.5.8 en azul.
- El valor del sumatorio de todas las transmitancias térmicas y las respectivas longitudes de los elementos a los que correspondan. Como el muro de fachada es

igual a ambos lados del puente térmico, se utilizará la misma transmitancia térmica ( $U$ ) calculada anteriormente en la Tab. 8.1.2.5, y la longitud exterior ( $L_{ext}$ ) o interior ( $L_{int}$ ) correspondiente (Fig. 8.1.5.8 en amarillo).

Finalmente, en la Tab. 8.1.5.2 se muestra la recopilación de valores y el cálculo de las distintas transmitancias mediante la (Ec. 7), obteniendo así las transmitancias térmicas lineales exterior e interior del puente térmico.

SUPUESTO 4		
Transmitancia térmica del muro ( $U$ )	0,746	W/m <sup>2</sup> K
Diferencia de temperaturas ( $\theta_i - \theta_e$ )	16,000	°C
Longitud exterior ( $L_{ext}$ )	2,350	m
Longitud interior ( $L_{int}$ )	2,000	m
Flujo de calor ( $\Phi$ )	33,142	W
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EXTERIOR (<math>\psi_{ext}</math>)</b>	<b>0,319</b>	<b>W/mK</b>
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL INTERIOR (<math>\psi_{int}</math>)</b>	<b>0,580</b>	<b>W/mK</b>

Tab. 8.1.5.2. Cálculo de la transmitancia térmica lineal. Supuesto 4 (Fuente propia)

#### IV) Cálculo del riesgo de condensaciones superficiales.

El Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB HE-3 indica que, para conocer el riesgo de condensaciones y aparición de moho, es necesario comparar dos factores adimensionales: el factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ) y el factor de temperatura útil sobre la superficie interior ( $f_{Rsi,min}$ ).

En primer lugar, es necesario obtener el dato de temperatura superficial interior mínima ( $\theta_{si}$ ) que aporta THERM (Fig. 8.1.5.9).

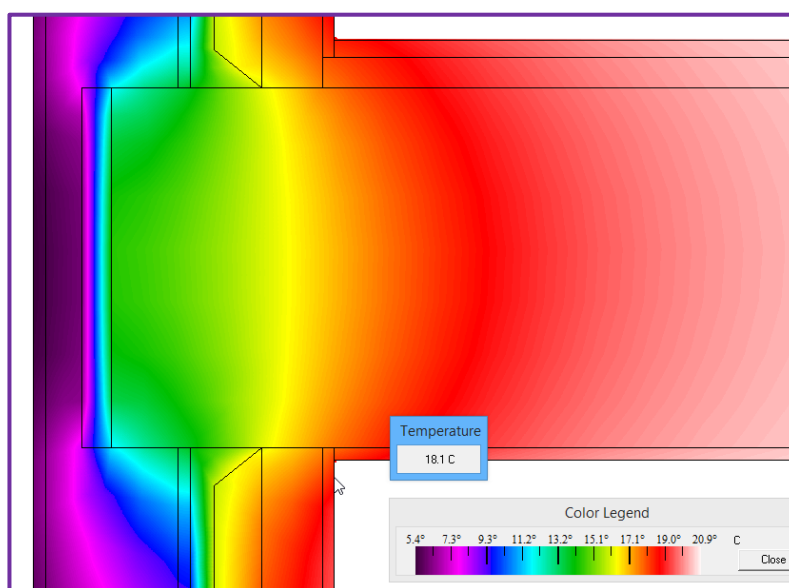


Fig. 8.1.5.9. Temperatura superficial interior mínima. Supuesto 4 (Fuente propia)

Para el cálculo del factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ) se han utilizado los siguientes valores:

- La temperatura superficial interior mínima: 18.1 °C (Fig. 8.1.5.9)
- La temperatura de ambiente interior: 21 °C
- La temperatura de ambiente exterior: 5 °C

A continuación, en la Tab. 8.1.5.3 se muestra la recopilación de valores y el cálculo del factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ) mediante la (Ec. 9).

SUPUESTO 4		
Temperatura interior ( $\theta_i$ )	21,000	°C
Temperatura exterior ( $\theta_e$ )	5,000	°C
Temperatura superficial interior mínima ( $\theta_{si}$ )	18,100	°C
<b>FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR (<math>f_{Rsi}</math>)</b>	<b>0,905</b>	

Tab. 8.1.5.3. Cálculo del factor de temperatura superficial interior. Supuesto 4 (Fuente propia)

En segundo lugar, hay que conocer factor de temperatura útil sobre la superficie interior ( $f_{Rsi,min}$ ). Como la zona climática y la categoría de espacio no varían de un supuesto a otro, se ha obtenido el mismo valor que en el supuesto anterior (Tab. 8.1.2.8)

Finalmente, para saber si hay riesgo de condensaciones y formación de moho, se comprueba si se cumple la condición de la (Ec. 8).

$$f_{Rsi} = 0,905 > f_{Rsi,min} = 0,52 \quad (8)$$

En este caso sí se cumple la condición de la (Ec. 8), por lo que:

**NO se prevé la producción de condensaciones ni riesgo de formación de moho.**

## 8.2.- 2ª FASE. CÁLCULO DE LOS SUPUESTOS A SIMULAR EN EL MURO CARA VISTA. SOFTWARE THERM

En esta segunda fase se han realizado los cálculos en el muro a cara vista mediante el software THERM de aquellos dos supuestos a simular en la tercera fase mediante el software DesignBuilder, ya que en esta fase se necesitan los resultados de las dos tipologías de muro para incluirlas en el modelo del edificio.

Los dos supuestos a simular en la tercera fase son el “Supuesto 1. Puente térmico en frente de forjado en su estado natural”, y el supuesto con la patente más favorable de las anteriormente estudiadas: “Supuesto 2. Puente térmico en frente de forjado con la incorporación de la “Patente N°1”. Por lo tanto, esos son los supuestos a los que se les han realizado los cálculos en el muro a cara vista en esta segunda fase, nombrados como “Supuesto A” y “Supuesto B”, para diferenciarlos de la primera fase.

### 8.2.1.- Supuesto A. Puente térmico en frente de forjado en su estado natural

#### I) Descripción del supuesto y análisis de sus elementos.

Este supuesto contempla el cálculo del puente térmico en la zona de frente de forjado de una fachada concreta del edificio objeto de estudio, sin incorporación de ninguna patente, analizando así el frente de forjado en su estado natural.

La tipología de fachada elegida es la formada por muro a cara vista de 25 cm, que se encuentra solamente en la fachada oeste a excepción de la zona de salientes referida a los balcones.

El muro está compuesto, como se muestra en la Fig. 8.2.1.1, por un tabique de ladrillo con enlucido de yeso por el interior, cámara de aire, aislamiento a base de poliuretano, capa de mortero de cemento y un muro de medio pie de ladrillo perforado cara vista por el exterior.

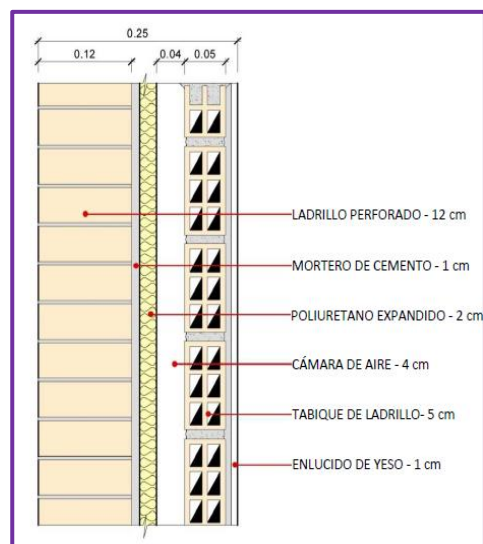


Fig. 8.2.1.1. Detalle constructivo de muro caravista  
(Fig.4.69 de Facchini, 2014)

Mediante el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, se obtienen los datos de conductividad térmica ( $\lambda$ ) de cada uno de los materiales que componen la fachada. Al no conocer con exactitud las densidades de dichos materiales no es posible concretar la conductividad térmica, por lo que se ha optado por elegir aquellos más comunes en el

sector. A continuación, se muestra en la Tab. 8.2.1.1 los datos de cada material de la fachada.

CAPAS DEL MURO CARA VISTA	e (m)	$\lambda$ (W/mK)
Fábrica de 1/2 pie de ladrillo perforado	0,12	0,570
Mortero de cemento 1900 Kg/m <sup>3</sup>	0,01	1,300
Espuma rígida de Poliuretano (PUR)	0,02	0,300
Cámara de aire	0,04	-
Fábrica de tabique de ladrillo hueco sencillo	0,05	0,555
Enlucido de yeso	0,01	0,400
<b>TOTAL</b>	<b>0,25</b>	<b>1,157</b>

Tab. 8.2.1.1. Espesores y conductividad térmica de los materiales de la fachada (Fuente propia)

La unión de esta fachada con el forjado se resuelve de la misma manera que en la fachada de muro revestido (apartado 8.1.2), ya que la única diferencia es el revestimiento exterior, el cual no afecta en absoluto a la resolución del encuentro.

## II) Procedimiento de trabajo en THERM.

### a) Modelado geométrico.

Como el detalle es prácticamente el mismo que en el muro revestido (la única salvedad es eliminación de la última capa de revestimiento), la realización del modelo es igual que la realizada en el supuesto anteriormente mencionado (apartado 8.1.2).

### b) Asignación de materiales.

Con la librería de materiales previamente cargada en el software THERM, se ha asignado a cada polígono los distintos materiales que componen el modelo del supuesto.

Se ha buscado en la librería de THERM aquellos materiales que sean más parecidos a los originales en cuanto a conductividad térmica. A continuación, se muestra en la Tab. 8.2.1.2 la asignación de los materiales de los que disponen la librería a cada capa del modelo.

CAPA DEL MODELO	MATERIAL ASIGNADO EN THERM	$\lambda$ (W/mK)
Fábrica de 1/2 pie de ladrillo perforado	Fábrica de ½ pie LP métrico o catalán 60 mm < G < 80 mm	0,595
Mortero de cemento 1900 Kg/m <sup>3</sup>	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	1,300
Espuma rígida de Poliuretano	PUR Plancha con HFC o Pentano y Rev. Permeable a	0,030

(PUR)	gases [0,03 w/mK]	
Cámara de aire	Cámara de aire sin ventilar	-
Fábrica de tabique de ladrillo hueco sencillo	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm]	0,444
Enlucido de yeso	Enlucido de yeso d < 1000	0,400
Forjado HA-25	Forjado con capa de compresión - Canto 300 mm	1,579
Capa de nivelación	Hormigón en masa 2000 < d < 2300	1,650
Solería cerámica	Plaqueta o baldosa cerámica	1,000

Tab. 8.2.1.2. Asignación de materiales. Supuesto A (Fuente propia)

c) Condiciones de contorno.

Las condiciones de contorno asignadas a la fachada son las mismas que en los supuestos anteriores.

d) Obtención de resultados.

➤ Resultados visuales:

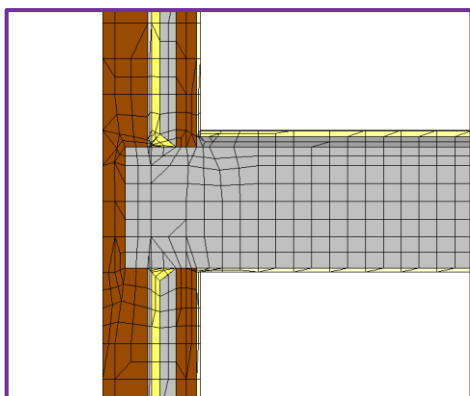


Fig. 8.2.1.2. Malla de elementos finitos. Supuesto A (Fuente propia)

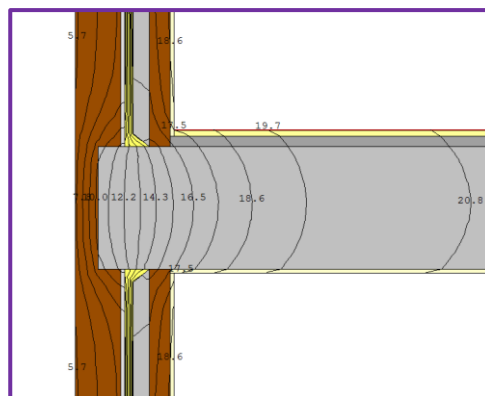


Fig. 8.2.1.3. Líneas isotermas. Supuesto A (Fuente propia)

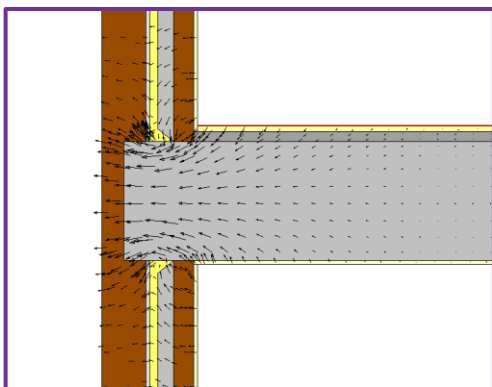


Fig. 8.2.1.4. Vectores de flujo. Supuesto A (Fuente propia)

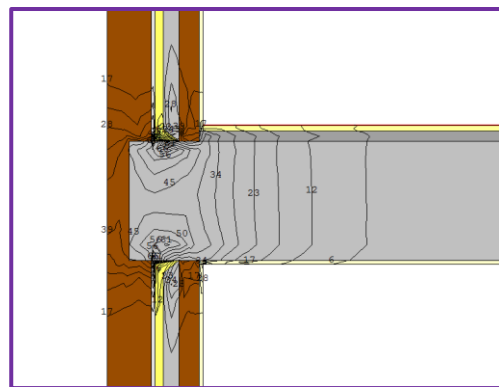


Fig. 8.2.1.5. Líneas de magnitud de flujo de calor. Supuesto A (Fuente propia)

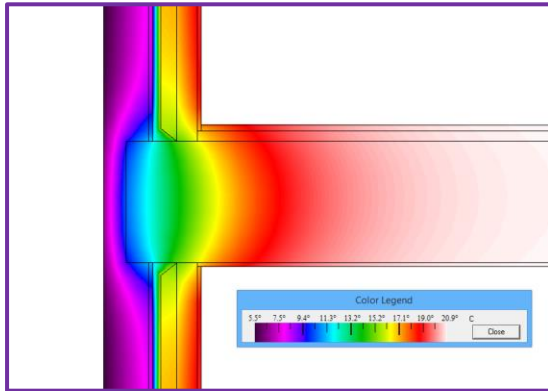


Fig. 8.2.1.6. Mapa de color de temperatura. Supuesto A (Fuente propia)

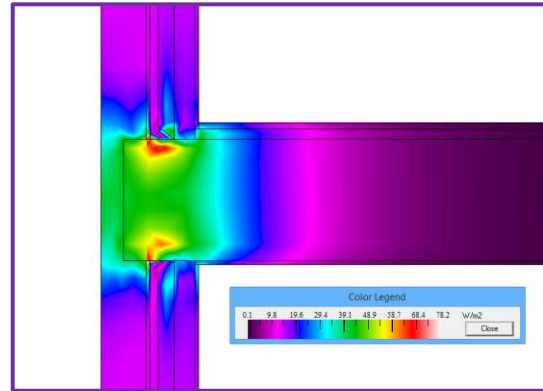


Fig. 8.2.1.7. Mapa de color de la magnitud del flujo. Supuesto A (Fuente propia)

### ➤ Resultados numéricos

- Diferencia de temperatura: 16 °C (Fig. 8.2.1.8. en azul)
- Longitud:  $L_{ext} = 2,35$  m,  $L_{int} = 2$  m (Fig. 8.2.1.8. en amarillo)
- Flujo de calor: 41,423 W (Fig. 8.2.1.8. en rojo)

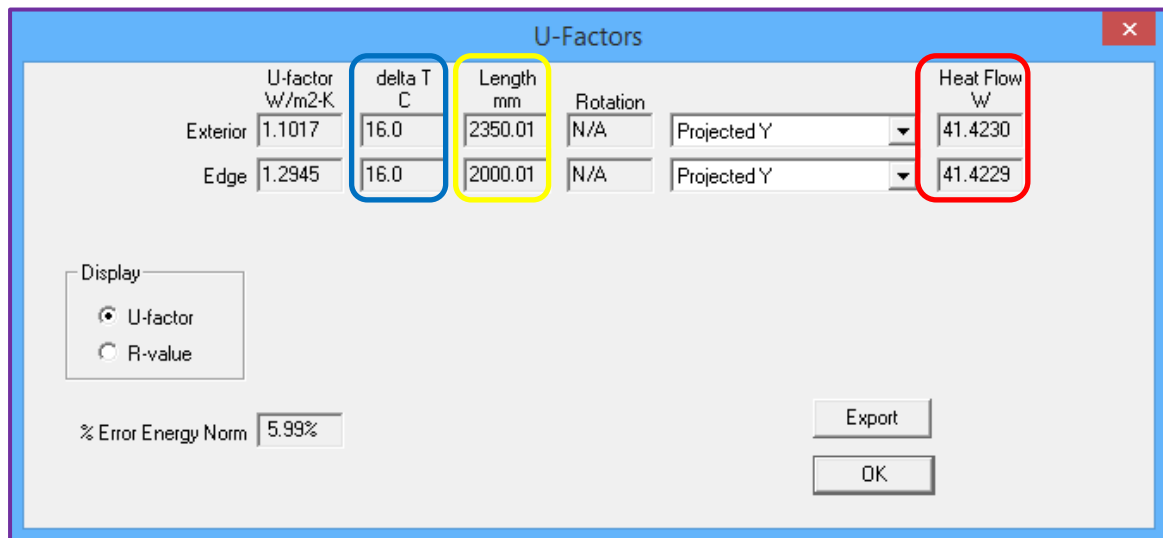


Fig. 8.2.1.8. Resultados numéricos de THERM. Supuesto A (Fuente propia)

### III) Cálculo de la transmitancia térmica lineal del puente térmico.

En primer lugar, es necesario calcular las transmitancias térmicas (U) de los elementos de flanco anexo a los planos de corte, o lo que es lo mismo, la transmitancia térmica unidimensional de cada elemento que no se ve afectado por el puente térmico, es decir, al muro de fachada.

Para el cálculo de la transmitancia térmica ( $U$ ) del muro, se han utilizado las fórmulas que se encuentran en el DA DB HE-1. Se han realizado unas tablas en Excel para simplificar los cálculos.

Se comienza anotando los datos tanto de espesores ( $e$ ) como la conductividad ( $\lambda$ ) de cada capa del muro (excepto la cámara de aire), que se recogieron en la Tab. 8.1.2.1.

Se continúa realizando el cálculo de la resistencia térmica ( $R$ ) de cada capa mediante la (Ec. 6). Y para el caso de la cámara de aire, se ha utilizado la Tab. 4.3.2.2, y extrapolando según el espesor, se obtendrá su resistencia térmica.

Los resultados se muestran a continuación en la Tab. 8.1.2.3.

CAPAS DEL MURO REVESTIDO	$e$ (m)	$\lambda$ (W/mK)	$R$ (m <sup>2</sup> K/W)
Fábrica de 1/2 pie de ladrillo perforado	0,11	0,595	0,185
Mortero de cemento 1900 Kg/m <sup>3</sup>	0,01	1,300	0,008
Espuma rígida de Poliuretano (PUR)	0,02	0,030	0,667
Cámara de aire	0,04	-	0,160
Fábrica de tabique de ladrillo hueco sencillo	0,05	0,444	0,113
Enlucido de yeso	0,01	0,400	0,025
<b>TOTAL</b>	<b>0,25</b>		<b>1,157</b>

Tab. 8.2.1.3. Cálculo de las resistencias de las capas. Supuesto A (Fuente propia)

A esta resistencia total calculada hay que sumarle las resistencias superficiales interior y exterior ( $R_{si}$  y  $R_{se}$ ). Consultando la Tab. 4.3.2.1. se consideran, para paramentos verticales con flujo horizontal, una resistencia térmica interior ( $R_{si}$ ) de 0,13 m<sup>2</sup>K/W y una resistencia térmica exterior ( $R_{se}$ ) de 0,04 m<sup>2</sup>K/W.

En la Tab. 8.1.2.4 se muestra la recopilación de datos y el cálculo de la resistencia térmica total ( $R_T$ ) mediante la (Ec. 5).

Resistencia total de las capas ( $R$ )	1,157	m <sup>2</sup> K/W
Resistencia térmica interior ( $R_{si}$ )	0,13	m <sup>2</sup> K/W
Resistencia térmica exterior ( $R_{se}$ )	0,04	m <sup>2</sup> K/W
<b>RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL (<math>R_T</math>)</b>	<b>1,327</b>	<b>m<sup>2</sup>K/W</b>

Tab. 8.2.1.4. Cálculo de la resistencia térmica total. Supuesto A (Fuente propia)

Finalmente, hay que aplicar la (Ec. 4) para el cálculo de la transmitancia térmica unidimensional ( $U$ ), como se muestra en la Tab. 8.1.2.5.

RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL ( $R_T$ )	1,327	m <sup>2</sup> K/W
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA DEL MURO (<math>U</math>)</b>	<b>0,754</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>

Tab. 8.2.1.5. Cálculo de la transmitancia térmica del muro. Supuesto A (Fuente propia)



A continuación, se ha calculado la transmitancia térmica lineal del puente térmico mediante la (Ec. 7), para lo cual son necesarios los siguientes valores:

- El valor de flujo de calor obtenido en los resultados de cálculo con THERM que se muestra en la Fig. 8.2.1.8 en rojo.
- La diferencia de las temperaturas interior (21°C) y exterior (5°C) que se muestra en la Fig. 8.2.1.8 en azul.
- El valor del sumatorio de todas las transmitancias térmicas y las respectivas longitudes de los elementos a los que correspondan. Como el muro de fachada es igual a ambos lados del puente térmico, se utilizará la misma transmitancia térmica (U) calculada anteriormente en la Tab. 8.1.2.5, y la longitud exterior ( $L_{ext}$ ) o interior ( $L_{int}$ ) correspondiente (Fig. 8.2.1.8 en amarillo).

Finalmente, en la Tab. 8.2.1.6 se muestra la recopilación de valores y el cálculo de las distintas transmitancias mediante la (Ec. 7), obteniendo así las transmitancias térmicas lineales exterior e interior del puente térmico.

SUPUESTO A		
Transmitancia térmica del muro (U)	0,754	W/m <sup>2</sup> K
Diferencia de temperaturas ( $\theta_i - \theta_e$ )	16,000	°C
Longitud exterior ( $L_{ext}$ )	2,350	m
Longitud interior ( $L_{int}$ )	2,000	m
Flujo de calor ( $\Phi$ )	41,423	W
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EXTERIOR (<math>\psi_{ext}</math>)</b>	<b>0,818</b>	<b>W/mK</b>
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL INTERIOR (<math>\psi_{int}</math>)</b>	<b>1,082</b>	<b>W/mK</b>

Tab. 8.2.1.6. Cálculo de la transmitancia térmica lineal. Supuesto A (Fuente propia)

#### IV) Cálculo del riesgo de condensaciones superficiales.

En este supuesto no se ha calculado el riesgo de condensaciones, ya que no es un valor necesario para realizar la simulación mediante el software DesignBuilder.

### 8.2.2.- Supuesto B. Puente térmico en frente de forjado con incorporación de la patente más favorable

<b>Título</b>	Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas.
<b>Solicitada</b>	Universidad de Sevilla.
<b>Inventores</b>	Ortega López, Humberto; Moyano Campos, Juan José; Marín García, David; Rico Delgado, Fernando; Moreno Muñoz, Antonio
<b>Código</b>	2 537 251.

#### I) Descripción del supuesto y análisis de sus elementos.

Este supuesto contempla el cálculo del puente térmico en la zona de frente de forjado de una fachada concreta del edificio objeto de estudio, al que se le ha incorporado la “Patente nº1. Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas”.

La fachada utilizada es la misma descrita en el supuesto anterior (Fig. 8.2.1.1).

La unión de esta fachada con el forjado se resuelve de la misma manera que en la fachada de muro revestido (apartado 8.1.3), ya que la única diferencia es el revestimiento exterior, el cual no afecta en absoluto a la resolución del encuentro.

#### II) Procedimiento de trabajo en THERM.

##### a) Modelado geométrico.

Como el detalle es prácticamente el mismo que en el muro revestido (la única salvedad es eliminación de la última capa de revestimiento), la realización del modelo es igual que la realizada en el supuesto anteriormente mencionado (apartado 8.1.3).

##### b) Asignación de materiales.

Con la librería de materiales previamente cargada en el software THERM, se ha asignado a cada polígono los distintos materiales que componen el modelo del supuesto.

Se ha buscado en la librería de THERM aquellos materiales que sean más parecidos a los originales en cuanto a conductividad térmica. A continuación, se muestra en la Tab. 8.2.2.1 la asignación de los materiales, de los que disponen la librería, a cada capa del modelo.

CAPA DEL MODELO	MATERIAL ASIGNADO EN THERM	$\lambda$ (W/mK)
Fábrica de 1/2 pie de ladrillo perforado	Fábrica de ½ pie LP métrico o catalán 60 mm < G < 80 mm	0,595
Mortero de cemento 1900 Kg/m <sup>3</sup>	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	1,300
Espuma rígida de Poliuretano (PUR)	PUR Plancha con HFC o Pentano y Rev. Permeable a gases [0,03 w/mK]	0,030
Cámara de aire	Cámara de aire sin ventilar	-
Fábrica de tabique de ladrillo hueco sencillo	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm]	0,444
Enlucido de yeso	Enlucido de yeso d < 1000	0,400
Forjado HA-25	Forjado con capa de compresión - Canto 300 mm	1,579
Capa de nivelación	Hormigón en masa 2000 < d < 2300	1,650
Solería cerámica	Plaqueta o baldosa cerámica	1,000
Sistema AFF2	EPS Poliestireno Expandido [0,029 W/mK]	0,029

Tab. 8.2.2.1. Asignación de materiales. Supuesto B (Fuente propia)

c) Condiciones de contorno.

Las condiciones de contorno asignadas a la fachada son las mismas que en el supuesto anterior.

d) Obtención de resultados.

➤ Resultados visuales

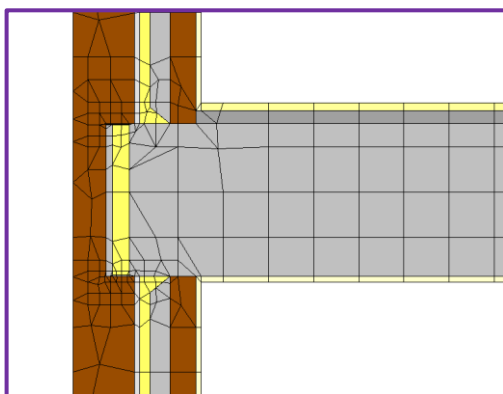


Fig. 8.2.2.1. Malla de elementos finitos. Supuesto B  
(Fuente propia)

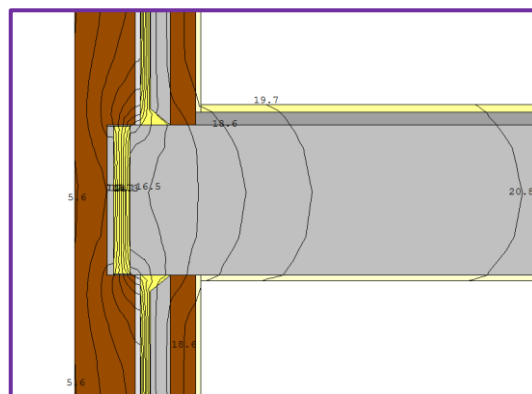


Fig. 8.2.2.2. Líneas isotermas. Supuesto B (Fuente propia)

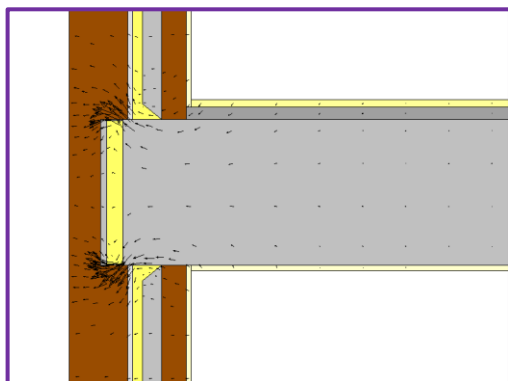


Fig. 8.2.2.3. Vectors de flujo. Supuesto B (Fuente propia)

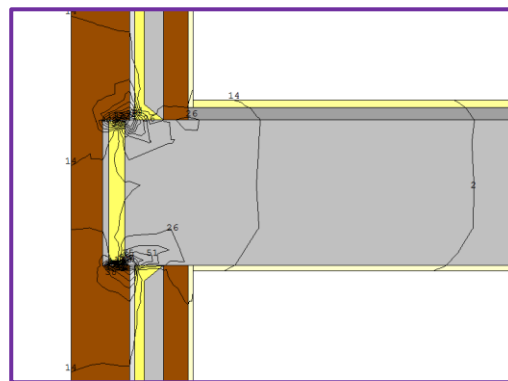


Fig. 8.2.2.4. Líneas de magnitud de flujo de calor. Supuesto B (Fuente propia)

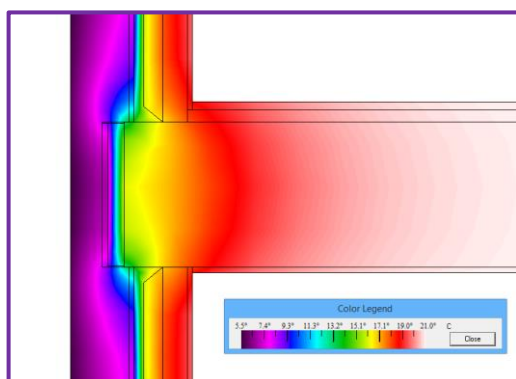


Fig. 8.2.2.5. Mapa de color de temperatura. Supuesto B (Fuente propia)

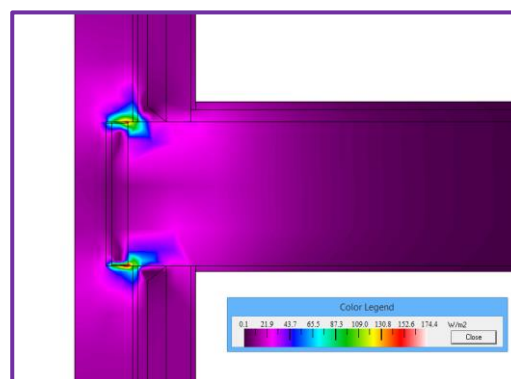


Fig. 8.2.2.6. Mapa de color de la magnitud del flujo. Supuesto B (Fuente propia)

#### ➤ Resultados numéricos

- Diferencia de temperatura: 16 °C (Fig. 8.2.2.7. en azul)
- Longitud:  $L_{ext} = 2,35$  m,  $L_{int} = 2$  m (Fig. 8.2.2.7. en amarillo)
- Flujo de calor: 31,632 W (Fig. 8.2.2.7. en rojo)

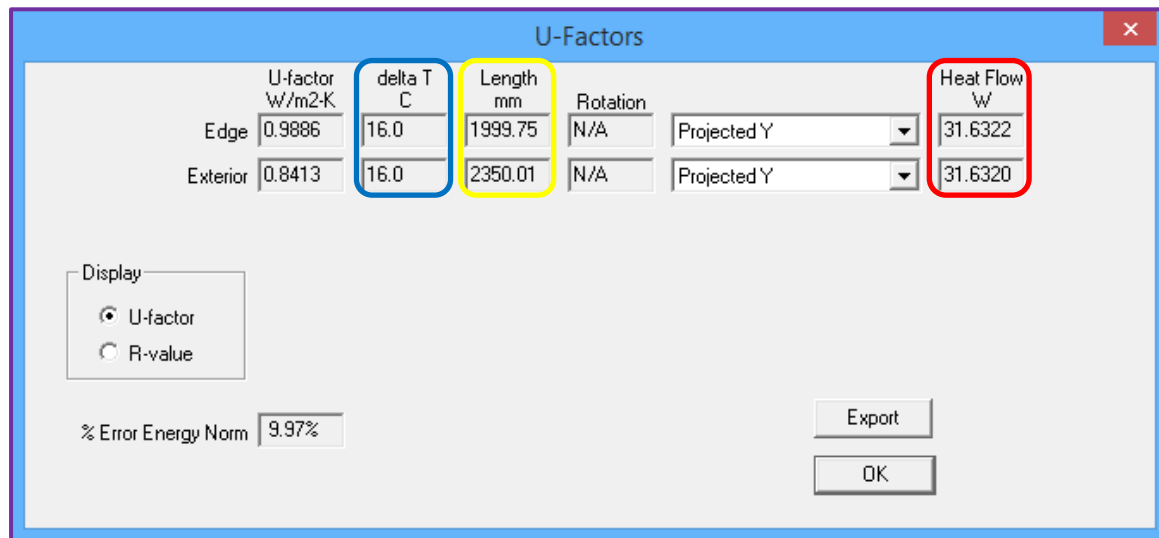


Fig. 8.2.2.7. Resultados numéricos de THERM. Supuesto B (Fuente propia)

### III) Cálculo de la transmitancia térmica lineal del puente térmico.

En primer lugar, es necesario calcular las transmitancias térmicas (U) de los elementos de flanco anexo a los planos de corte, o lo que es lo mismo, la transmitancia térmica unidimensional de cada elemento que no se ve afectado por el puente térmico, en este caso se refiere al muro de fachada.

Como el muro elegido es el mismo que en el supuesto anterior, se ha utilizado la transmitancia térmica (U) calculada anteriormente en la Tab. 8.1.2.5.

A continuación, se ha calculado la transmitancia térmica lineal del puente térmico mediante la (Ec. 7), para lo cual son necesarios los siguientes valores:

- El valor de flujo de calor obtenido en los resultados de cálculo con THERM que se muestra en la Fig. 8.2.2.7 en rojo.
- La diferencia de las temperaturas interior (21°C) y exterior (5°C) que se muestra en la Fig. 8.2.2.7 en azul.
- El valor del sumatorio de todas las transmitancias térmicas y las respectivas longitudes de los elementos a los que correspondan. Como el muro de fachada es igual a ambos lados del puente térmico, se utilizará la misma transmitancia térmica (U) calculada anteriormente en la Tab. 8.1.2.5, y la longitud exterior ( $L_{ext}$ ) o interior ( $L_{int}$ ) correspondiente (Fig. 8.2.2.7 en amarillo).

Finalmente, en la Tab. 8.2.2.2 se muestra la recopilación de valores y el cálculo de las distintas transmitancias mediante la (Ec. 7), obteniendo así las transmitancias térmicas lineales exterior e interior del puente térmico.

SUPUESTO B		
Transmitancia térmica del muro ( $U$ )	0,746	W/m <sup>2</sup> K
Diferencia de temperaturas ( $\theta_i - \theta_e$ )	16,000	°C
Longitud exterior ( $L_{ext}$ )	2,350	m
Longitud interior ( $L_{int}$ )	2,000	m
Flujo de calor ( $\Phi$ )	31,632	W
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EXTERIOR (<math>\psi_{ext}</math>)</b>	<b>0,206</b>	<b>W/mK</b>
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL INTERIOR (<math>\psi_{int}</math>)</b>	<b>0,470</b>	<b>W/mK</b>

Tab. 8.2.2.2. Cálculo de la transmitancia térmica lineal. Supuesto B (Fuente propia)

#### IV) Cálculo del riesgo de condensaciones superficiales.

En este supuesto no se ha calculado el riesgo de condensaciones, ya que no es un valor necesario para realizar la simulación mediante el software DesignBuilder.

## 8.3.- 3ª FASE. SIMULACIÓN ENERGÉTICA. SOFTWARE DESIGNBUILDER

### 8.3.1.- Modelado del edificio en el software DesignBuilder

Antes de realizar las simulaciones energéticas es necesario realizar un modelo del edificio en el software DesignBuilder, para ello se ha realizado un estudio intensivo del software para conocer su funcionamiento, así como las mecánicas para su correcto manejo.

En primer lugar, para crear un nuevo modelo es necesario la elección de una situación del edificio, en este caso, como se muestra en la Fig. 8.3.1.1, se ha elegido una situación incluida ya en el software: “Sevilla/San Pablo”.

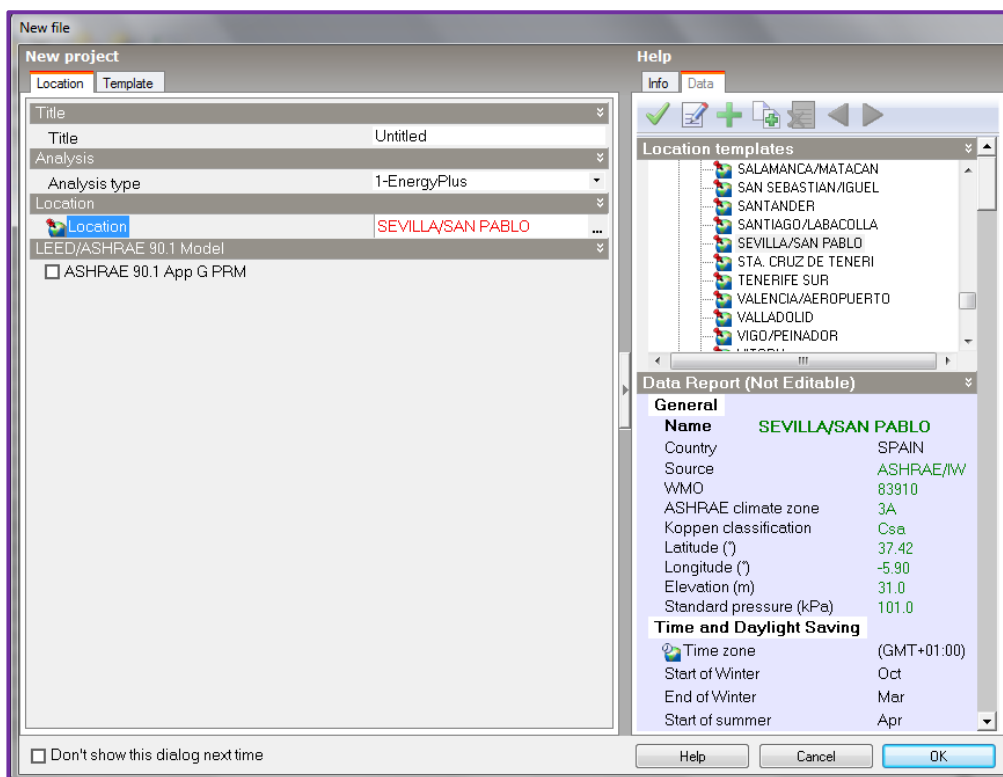


Fig. 8.3.1.1. Elección de la localización del edificio (Fuente propia)

El modelado del edificio se puede realizar directamente en el DesignBuilder, o bien cargando una plantilla que sirva de guía. En este caso como se dispone de la planimetría del edificio en AutoCAD (Fig. 8.3.1.2), se han convertido los planos referentes a la distribución de cada planta en archivos .dxf para poder cargarlos en el DesignBuilder como plantillas (Fig.8.3.1.3). Antes de convertirlos, se han suprimido todos aquellos elementos superfluos que pueden entorpecer la realización del modelo (proyecciones, leyendas, mobiliario, cotas, etc.).

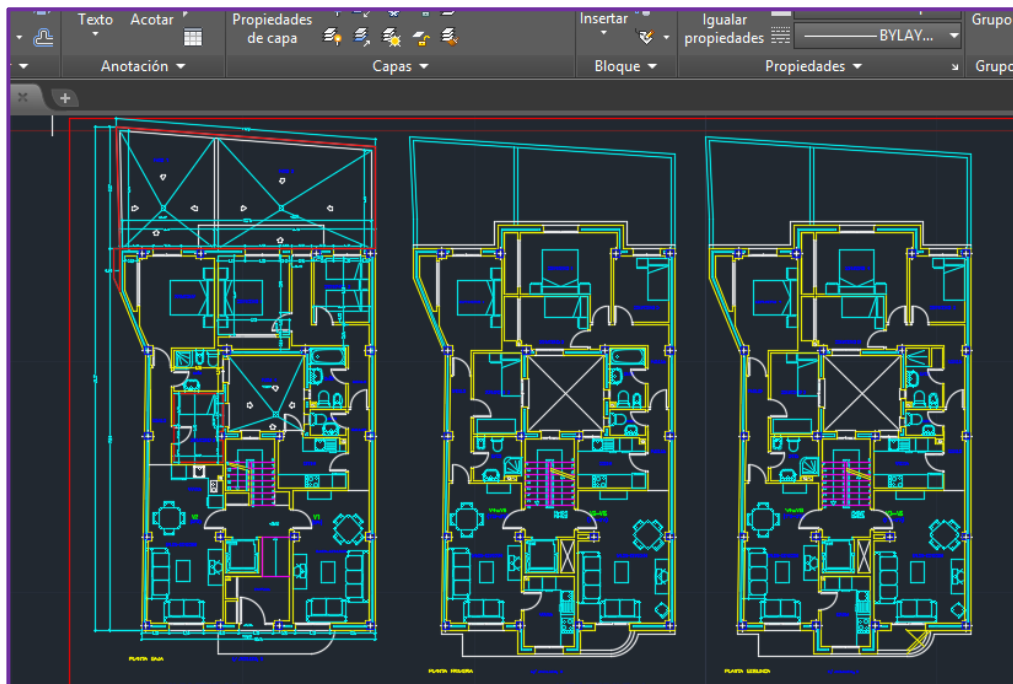


Fig. 8.3.1.2. Planos de distribución de cada planta en AutoCAD (Fuente propia)

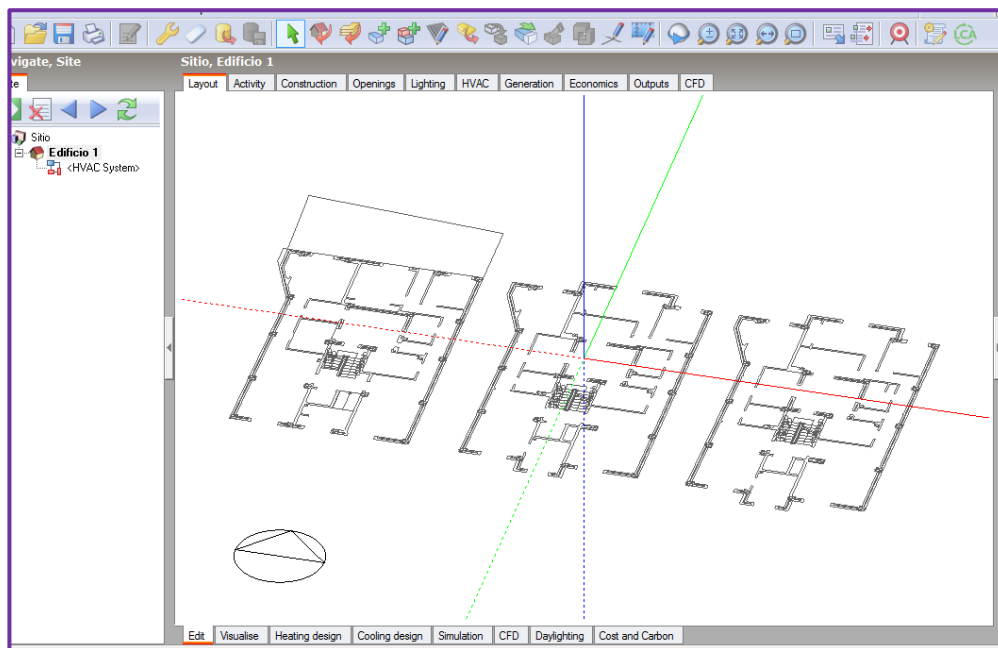


Fig. 8.3.1.3. Planos de distribución de cada planta en .dxf exportados a DesignBuilder (Fuente propia)

A partir de las plantillas cargadas, se trabaja sobre ellas creando el modelo del edificio. El software DesignBuilder realiza modelos mediante la creación de bloques, que se generan dibujando perímetros en dos dimensiones y luego se extruyen para obtener formas tridimensionales. Al elegir el tipo de bloque a utilizar se define la altura del bloque y el espesor del muro, en la Tab.8.3.1.1 se muestra una relación de los datos de cada bloque.



	BLOQUE P.B.	BLOQUE P.1ª	BLOQUE P.2ª	BLOQUE CAST.
Altura (m)	3,47	3,05	3,05	3,05
Espesor (m)	0,25	0,25	0,25	0,25

Tab. 8.3.1.1. Relación de datos de los bloques (Fuente propia)

A cada planta del edificio le corresponde un bloque diferente, por lo que se comienza cargando la plantilla de planta baja para después crear el bloque de dicha planta como se muestra en la Fig.8.3.1.4, luego sobre ese bloque se sitúa la plantilla de la primera planta para crear el bloque de la primera planta, y así sucesivamente.

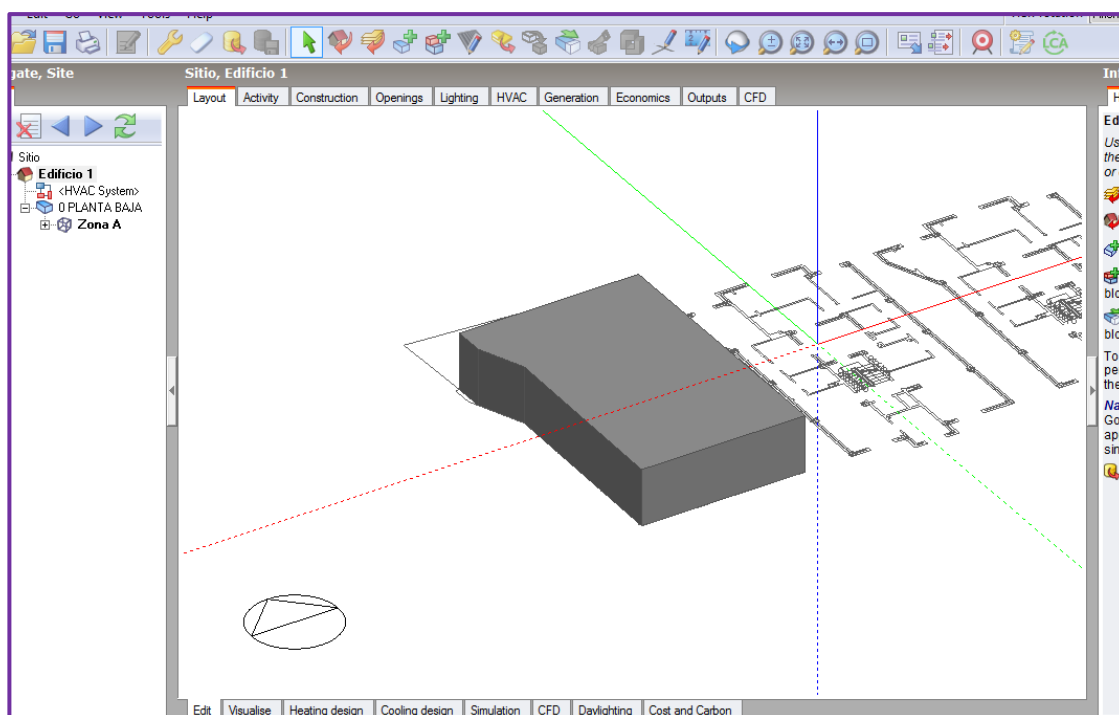


Fig. 8.3.1.4. Realización del bloque de P.B. sobre la plantilla (Fuente propia)

También se han utilizado los bloques para crear los edificios colindantes y otros elementos sólidos como balcones, salientes, pretilas, etc.; pero, para estos, es necesario utilizar otro tipo de bloques llamados “bloques de componente”, que no generan zonas térmicas, pero permiten considerar las obstrucciones solares que afectan al edificio, entre otras funciones. Estos bloques de componente se muestran en la Fig. 8.3.1.5 de color morado.

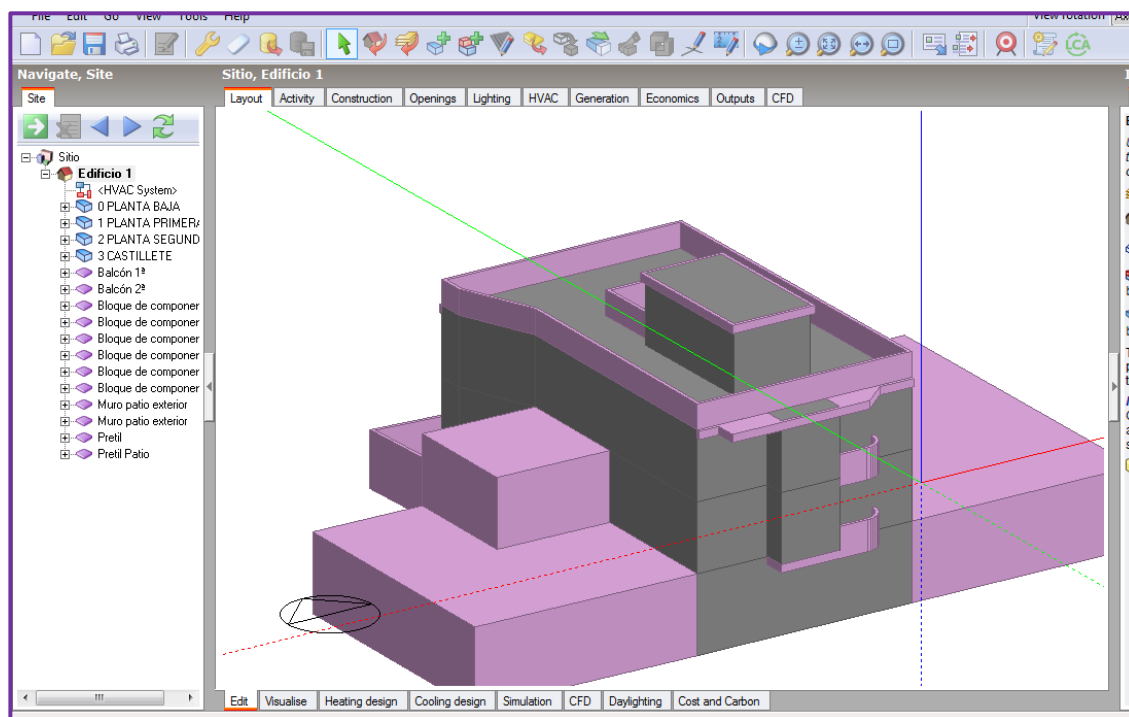
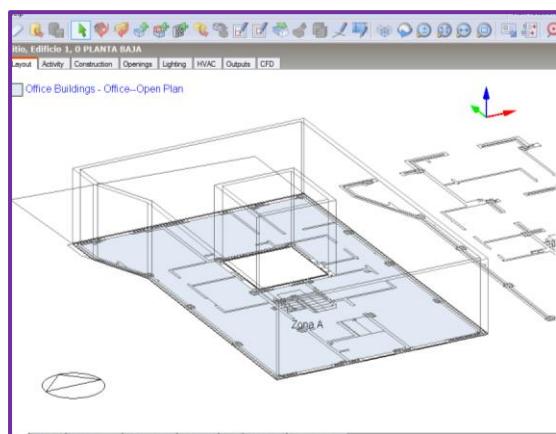
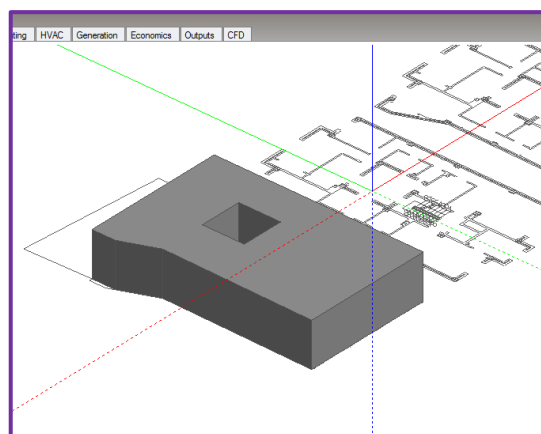


Fig. 8.3.1.5. Realización de los bloques de componente (Fuente propia)

Una vez generado el bloque de edificio completo, se ha procedido a dibujar los patios y las particiones interiores para dividir cada bloque en zonas térmicas.

Con la herramienta “dibujar patios”, se traza un perímetro en el interior del bloque para generar el patio, extruyendo los muros en toda la altura del edificio. Quedando así un patio modelado como zona exterior, y no como zona térmica (Fig.8.3.1.6 y Fig.8.3.1.7). Al igual que en la elaboración de bloques, se puede elegir el espesor del muro para el patio, en este caso se ha utilizado el mismo espesor que en todos los bloques: 0,25 m.

Fig. 8.3.1.6. Realización del patio. Vista interior  
(Fuente propia)Fig. 8.3.1.7. Realización del patio. Vista exterior  
(Fuente propia)

Las particiones se han dibujado dentro de cada bloque, para ello, se elige la herramienta “dibujar particiones” y sobre la plantilla exportada anteriormente se dibujan las diferentes particiones, dividiendo el bloque en zonas térmicas diferentes (Fig. 8.3.1.8).



Por último, se han asignado los materiales de los que se componen los muros exteriores del edificio. Dado que el objetivo de este PFG se centra en la comparación de dos supuestos diferentes únicamente en los puentes térmicos en frentes de forjado, solo es necesario especificar los materiales en los muros exteriores.

Desde la pestaña de cerramientos se elige la tipología de muro exterior como se muestra en la Fig. 8.3.1.10. El software cuenta con una amplia biblioteca para elegir la tipología de muro, pero en este caso se ha optado por crear una nueva tipología.

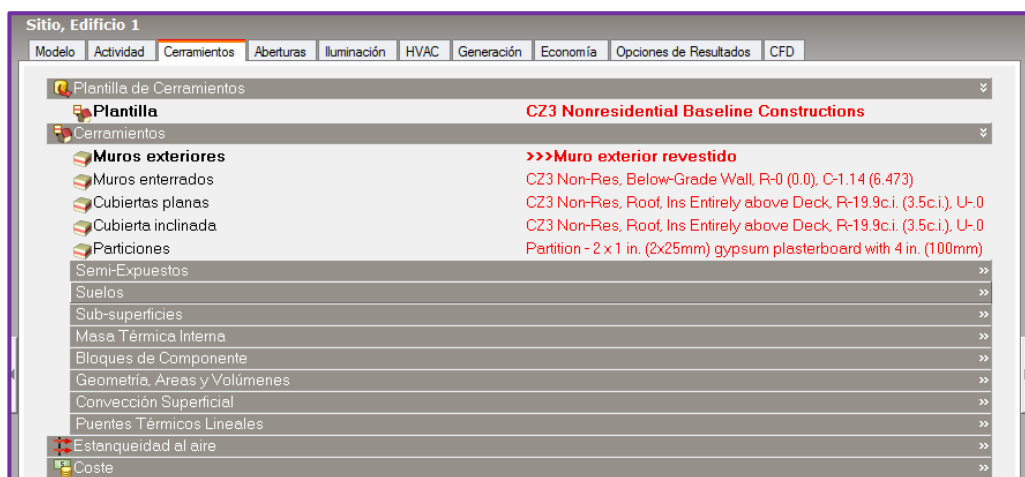


Fig. 8.3.1.10. Elección de la tipología de muro exterior (Fuente propia)

Para crear nuevas tipologías simplemente hay que definir las capas y los materiales que las componen, como se aprecia en la Fig. 8.3.1.11. Como el edificio de estudio cuenta con dos tipologías de fachadas diferentes (apartado 7.2.2), se han realizado dos muros exteriores, uno revestido y otro a cara vista.

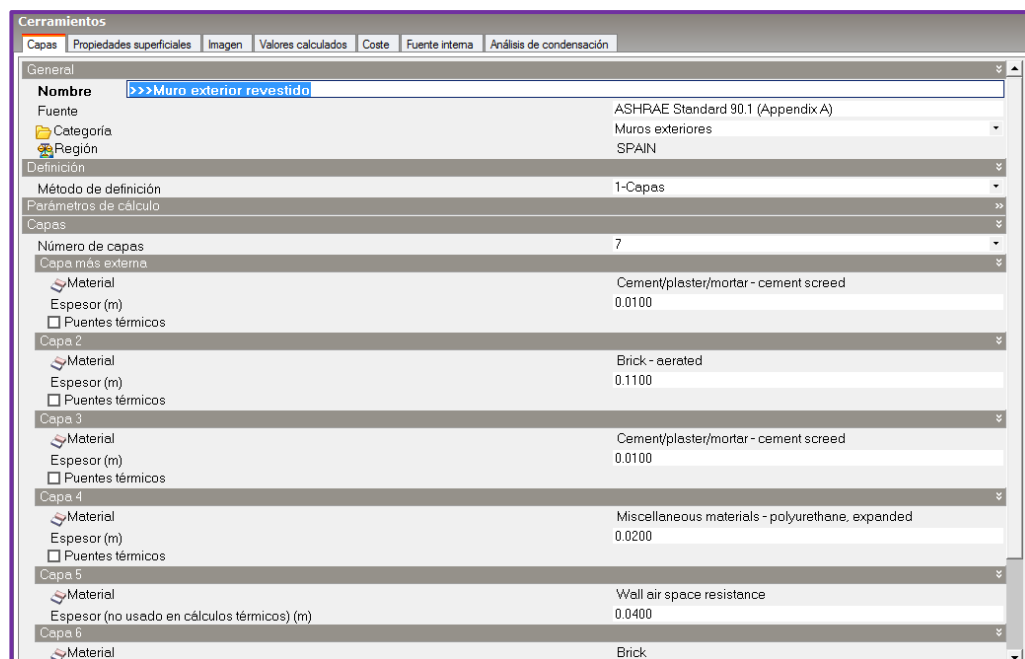


Fig. 8.3.1.11. Definición de la tipología del muro exterior (Fuente propia)

Para la definición de las capas y los materiales, se han elegido aquellos acordes a las especificaciones que se propusieron en anteriores apartados (Tab.8.1.2.1 y Tab.8.2.1.1).

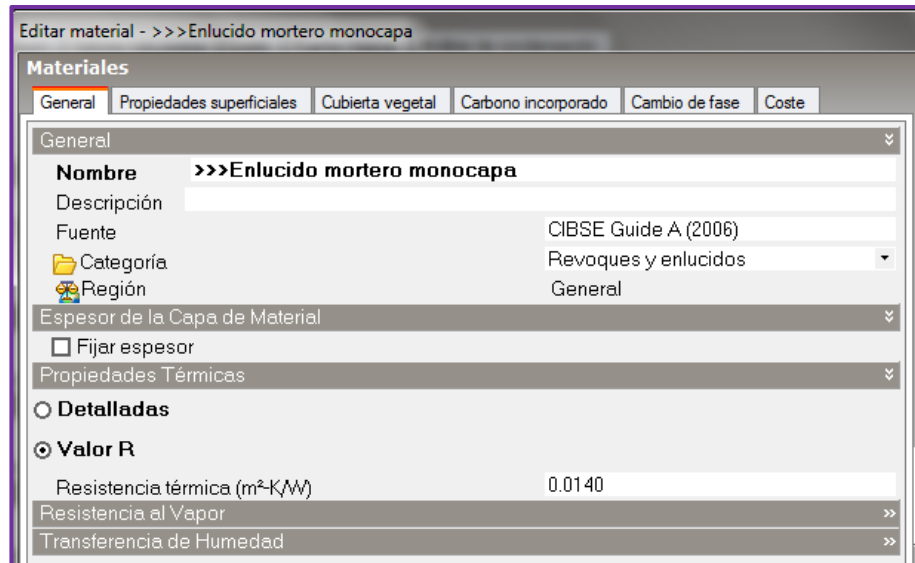


Fig. 8.3.1.12. Elección y definición del material de cada capa (Fuente propia)

Una vez completamente definidas las tipologías de muros exteriores, han sido asignadas a los bloques en función de lo especificado en la Fig.7.2.2.3. Así pues, primero se ha asignado a todo el edificio el muro exterior revestido (dado que es el predominante), y posteriormente se han elegido los muros correspondientes a la fachada cara vista, y se les han asignado el muro exterior cara vista.

Para todos los demás elementos del edificio (suelos, particiones, aberturas...), los materiales que se han elegido son aquellos predeterminados que aporta el software DesignBuilder.

Terminado el modelo del edificio, se ha procedido a la realización de las dos simulaciones, la primera del edificio en su estado natural, y la segunda con la incorporación de la patente más favorable.

### 8.3.2.- Simulación I. Simulación energética del edificio en su estado natural

En este apartado se describe el proceso de realización de la simulación energética mediante el software DesignBuilder, suponiendo el edificio modelado en su estado original.

Para poder realizar la simulación energética acorde a los resultados de puentes térmicos en frentes de forjado obtenidos mediante el software THERM, es necesario incluir dichos resultados (transmitancias térmicas) en el software DesignBuilder. Como se han calculado tanto las transmitancias térmicas lineales exteriores como las interiores, el valor a incluir será la media de estas dos, cuyo cálculo se muestra en las Tab.8.3.2.1 y Tab.8.3.2.2.

PUENTE TÉRMICO EN MURO EXTERIOR REVESTIDO		
Transmitancia térmica lineal exterior ( $\psi_{ext}$ )	0,845	W/mK
Transmitancia térmica lineal interior ( $\psi_{int}$ )	1,106	W/mK
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL MEDIA (<math>\psi</math>)</b>	<b>0,976</b>	<b>W/mK</b>

Tab. 8.3.2.1. Transmitancias térmicas lineales. Supuesto 1 (Fuente propia)

PUENTE TÉRMICO EN MURO EXTERIOR CARA VISTA		
Transmitancia térmica lineal exterior ( $\psi_{ext}$ )	0,818	W/mK
Transmitancia térmica lineal interior ( $\psi_{int}$ )	1,082	W/mK
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL MEDIA (<math>\psi</math>)</b>	<b>0,950</b>	<b>W/mK</b>

Tab. 8.3.2.2. Transmitancias térmicas lineales. Supuesto A (Fuente propia)

El software DesignBuilder cuenta, en la pestaña de “Cerramientos”, con una opción donde es posible modificar valores de  $P_{si}$  en puentes térmicos lineales. Concretamente, en el apartado “Valores de  $P_{si}$  cuando NO hay revestimiento metálico” la opción a modificar es la de “Muro-Suelo interior (W/mK)”, ya que es el puente térmico lineal referido a los frentes de forjado.

Dado que el edificio cuenta con zonas donde coexisten las dos tipologías de fachada, se necesita introducir el valor de transmitancia térmica lineal del puente térmico a nivel de superficie para diferenciar los tipos de muro. Sin embargo, el software DesignBuilder solamente permite introducir este valor a nivel de edificio completo, de bloque o de zona, no de superficie.

La solución adoptada ha sido la de calcular un valor que represente la suma de las transmitancias térmicas lineales medias de los puentes térmicos de ambas tipologías de fachada, en función del porcentaje de superficie que abarque cada una de ellas en el edificio. En la Tab. 8.3.2.3 se muestran los cálculos realizados para obtener dicho valor porcentual de transmitancia térmica lineal.

	MURO REVESTIDO	MURO CARA VISTA	TOTAL
<b>SUPERFICIE (%)</b>	86,85	13,15	100,00
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL MEDIA (W/mK)</b>	0,976	0,950	-
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL MEDIA PORCENTUAL (W/mK)</b>	0,848	0,125	<b>0,973</b>

Tab. 8.3.2.3. Cálculo de la transmitancia térmica lineal media porcentual. Simulación I (Fuente propia)

Ese valor porcentual de transmitancia térmica lineal es el que se ha introducido en el software DesignBuilder, en la opción de “Muro-Suelo interior (W/mK)” como se muestra en la Fig. 8.3.2.1.

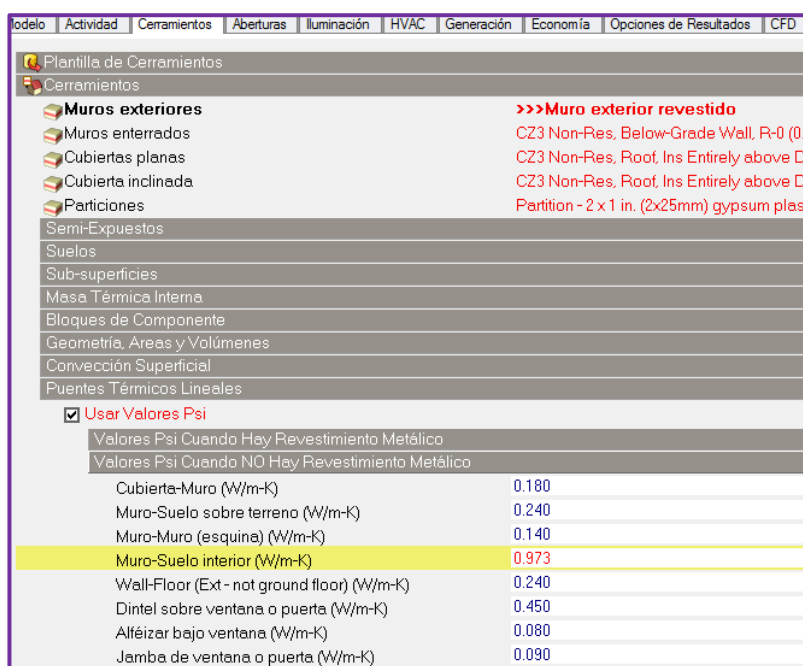


Fig. 8.3.2.1. Apartado para modificar el puente térmico lineal. (Fuente propia)

Una vez incorporados los valores de transmitancias térmicas lineales en los frentes de forjados, se procede a realizar la simulación energética del modelo. Para ello se han elegido las diferentes opciones de simulación que aporta el software DesignBuilder, seleccionando la pestaña inferior de “Diseño de calefacción”, “Diseño de refrigeración” o “Simulación”.

Antes de realizar la simulación, el software DesignBuilder permite seleccionar una serie de opciones de visualización de resultados.

Se puede elegir el período de simulación, que en este caso será de un año, y también se puede elegir que el software aporte resultados en intervalos anuales, mensuales, diarios, horarios y sub-horarios; como se muestra en la Fig. 8.3.2.2. Cuanto más



concretos sean los intervalos, mayor será el tiempo que necesite el software para realizar la simulación. En este caso solamente se ha calculado hasta el intervalo diario.

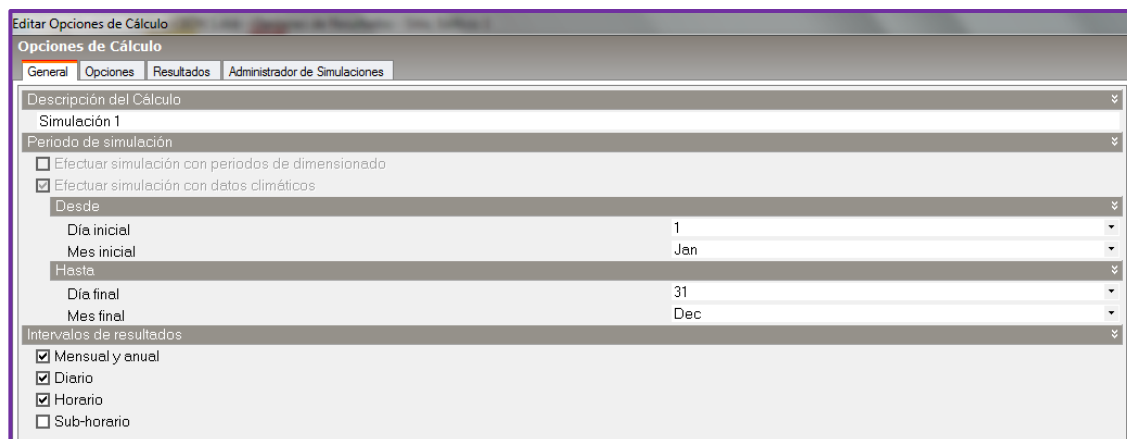


Fig. 8.3.2.2. Opciones generales de resultados de simulación en DesignBuilder (Fuente propia)

También en otro apartado es posible seleccionar una gran cantidad de opciones de visualización de resultados, tanto de energía, confort, iluminación, cargas, etc., como se muestra en la Fig. 8.3.2.3.

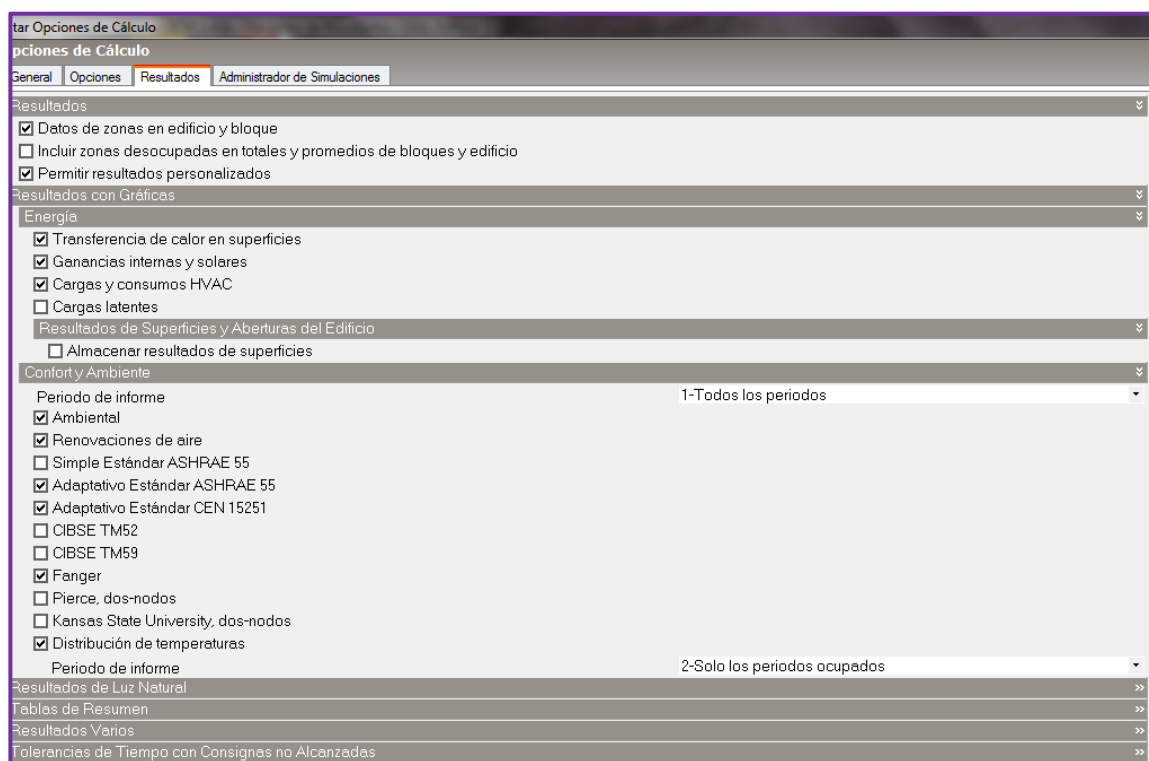


Fig. 8.3.2.3. Selección de opciones de visualización de resultados en DesignBuilder (Fuente propia)

Una vez elegida todas las opciones, se selecciona “Aceptar” y el programa lleva a cabo la simulación energética aportando los resultados elegidos. En el caso de este estudio solamente son necesarios los datos referidos a demanda energética,



concretamente las gráficas de “Cargas Térmicas”; dichos datos se visualizan de forma anual, mensual y diaria.

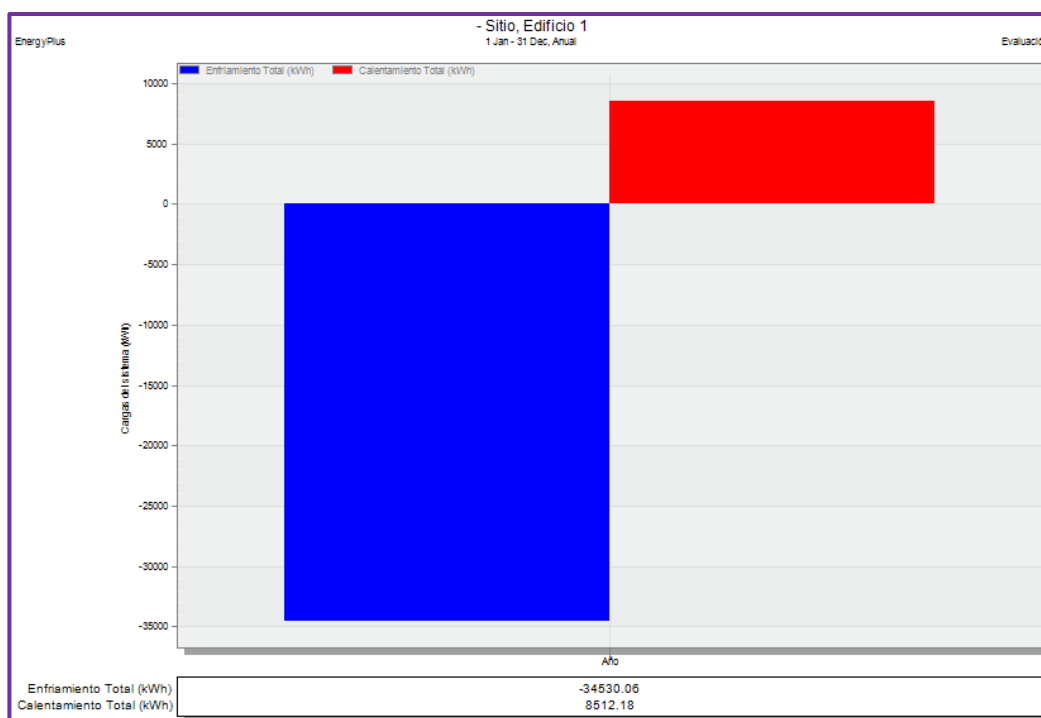


Fig. 8.3.2.4. Cargas térmicas anuales. Simulación I (Fuente propia)

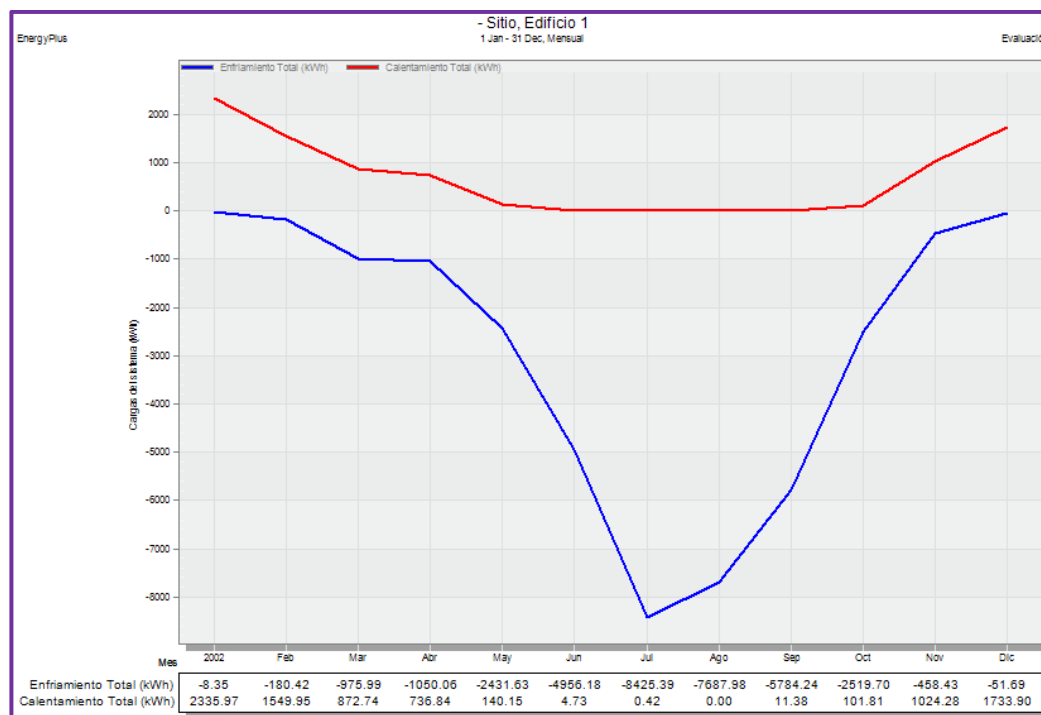


Fig. 8.3.2.5. Cargas térmicas mensuales. Simulación I (Fuente propia)

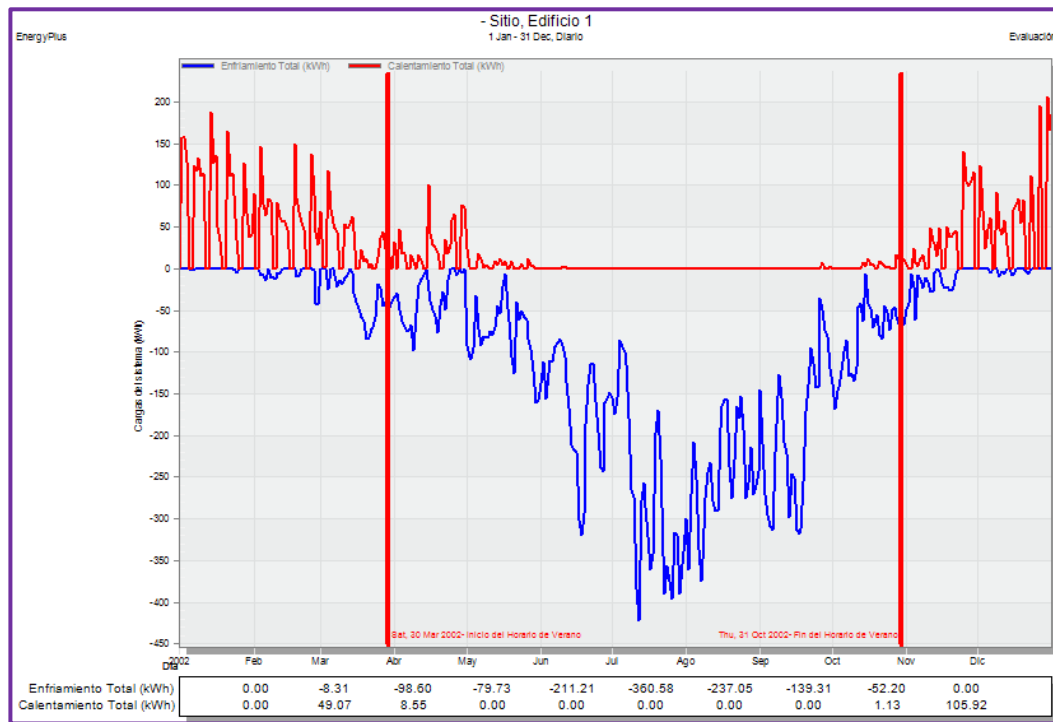


Fig. 8.3.2.6. Cargas térmicas diarias. Simulación I (Fuente propia)

### 8.3.3.- Simulación II. Simulación energética del edificio con incorporación de la patente más favorable

En este apartado se describe el proceso de realización de la simulación energética mediante el software DesignBuilder, suponiendo el edificio modelado con la incorporación de la patente más favorable.

<b>Título</b>	Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas.
<b>Solicitada</b>	Universidad de Sevilla.
<b>Inventores</b>	Ortega López, Humberto; Moyano Campos, Juan José; Marín García, David; Rico Delgado, Fernando; Moreno Muñoz, Antonio
<b>Código</b>	2 537 251.

Al igual que en la simulación anterior, es necesario incluir el valor medio de los resultados de transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos con la incorporación de dicha patente (Tab. 8.3.3.1 y Tab. 8.3.3.2). Así, con ese valor, el software DesignBuilder ha realizado la simulación energética teniendo en cuenta la incorporación de la patente en los puentes térmicos de frente de forjado.

PUENTE TÉRMICO EN MURO EXTERIOR REVESTIDO		
Transmitancia térmica lineal exterior ( $\psi_{\text{ext}}$ )	0,229	W/mK
Transmitancia térmica lineal interior ( $\psi_{\text{int}}$ )	0,490	W/mK
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL MEDIA (<math>\psi</math>)</b>	<b>0,360</b>	<b>W/mK</b>

Tab. 8.3.3.1. Transmitancias térmicas lineales. Supuesto 2 (Fuente propia)

PUENTE TÉRMICO EN MURO EXTERIOR CARA VISTA		
Transmitancia térmica lineal exterior ( $\psi_{\text{ext}}$ )	0,206	W/mK
Transmitancia térmica lineal interior ( $\psi_{\text{int}}$ )	0,470	W/mK
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL MEDIA (<math>\psi</math>)</b>	<b>0,338</b>	<b>W/mK</b>

Tab. 8.3.3.2. Transmitancias térmicas lineales. Supuesto B (Fuente propia)

Estos valores son agregados al software del mismo modo que en la simulación anterior. En la pestaña de cerramientos, se encuentra la opción donde es posible modificar valores de Psi en puentes térmicos lineales. Concretamente, en el apartado “Valores de Psi cuando NO hay revestimiento metálico” la opción a modificar es la de “Muro-Suelo interior (W/mK)”, ya que es el puente térmico lineal referido a los frentes de forjado.

A continuación, es necesario solventar el mismo problema que en el apartado anterior al no poder incluir el valor de transmitancia térmica lineal a nivel de superficie, por lo que se han realizado los cálculos en la Tab. 8.3.3.3 para obtener un valor porcentual de la transmitancia térmica lineal al igual que en la simulación anterior.

	MURO REVESTIDO	MURO CARA VISTA	TOTAL
<b>SUPERFICIE (%)</b>	86,85	13,15	100,00
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL MEDIA (W/MK)</b>	0,360	0,338	-
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL MEDIA PORCENTUAL (W/MK)</b>	0,313	0,044	<b>0,357</b>

Tab. 8.3.3.3. Cálculo de la transmitancia térmica lineal media porcentual. Simulación II (Fuente propia)

Ese valor porcentual de transmitancia térmica lineal es el que se ha introducido en el software DesignBuilder, en la opción de “Muro-Suelo interior (W/mK)” como se muestra en la Fig. 8.3.3.1.

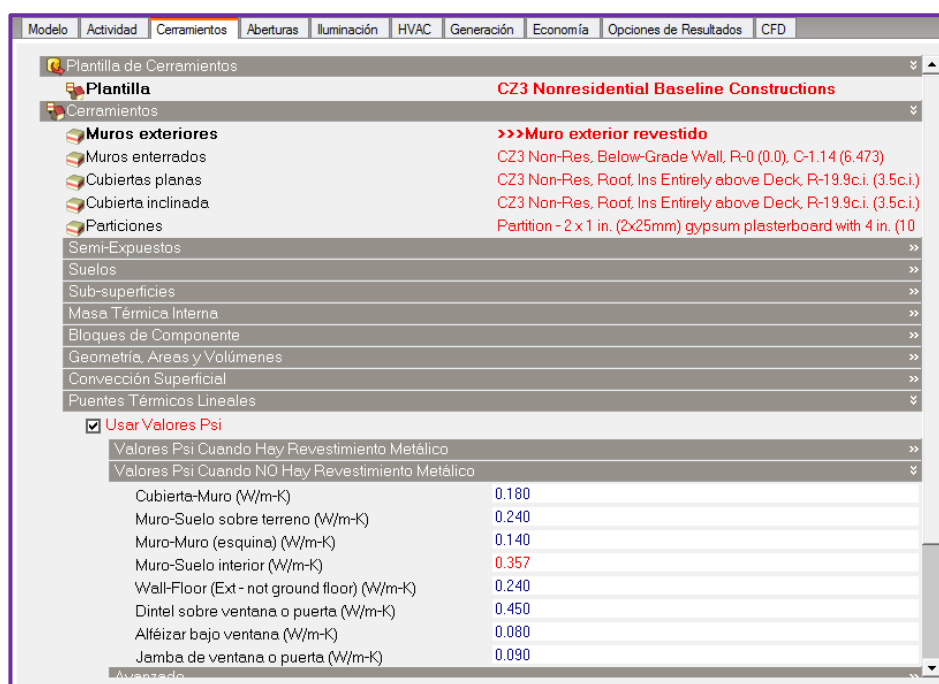


Fig. 8.3.3.1. Apartado para modificar el puente térmico lineal (Fuente propia)

Una vez incorporados los valores de transmitancias térmicas lineales en los frentes de forjados, se procede a realizar la simulación energética del modelo. Para ello se eligen las diferentes opciones de simulación que aporta el software DesignBuilder. En este caso se han elegido las mismas opciones que en la simulación anterior, para poder realizar más cómodamente la comparativa entre los resultados deseados.

Una vez elegida todas las opciones, se selecciona “Aceptar” y el programa lleva a cabo la simulación energética aportando los resultados elegidos. En el caso de este estudio solamente son necesarios los datos referidos a demanda energética, concretamente las gráficas de “Cargas Térmicas”; dichos datos se visualizan de forma anual, mensual y diaria.

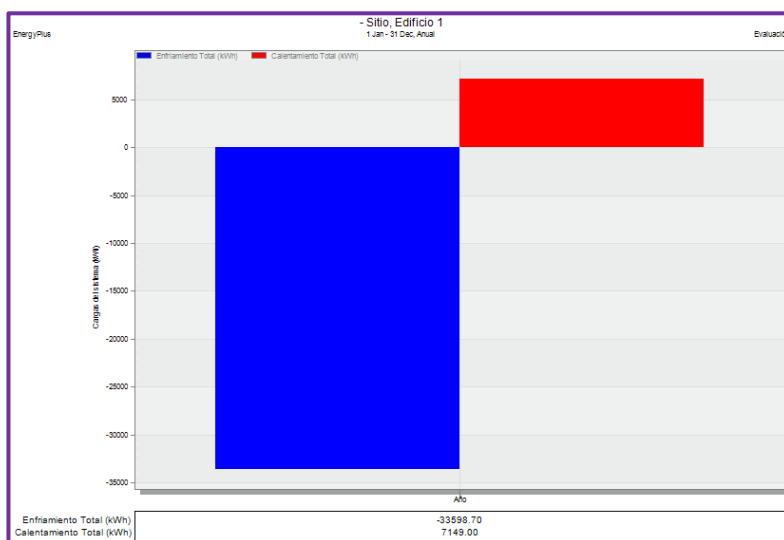


Fig. 8.3.3.2. Cargas térmicas anuales. Simulación II (Fuente propia)

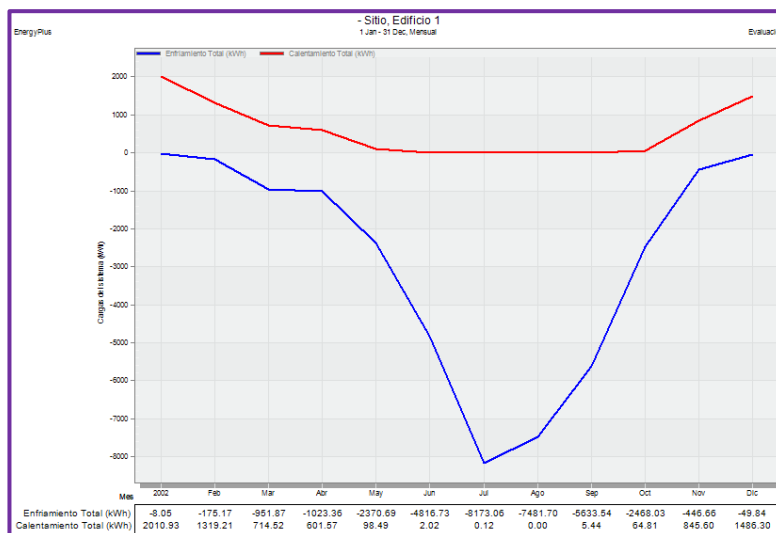


Fig. 8.3.3.3. Cargas térmicas mensuales. Simulación II (Fuente propia)

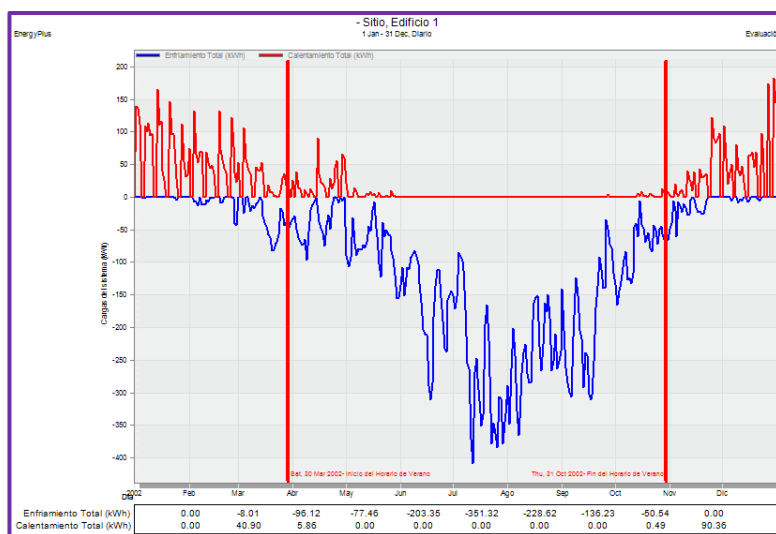


Fig. 8.3.3.4. Cargas térmicas diarias. Simulación II (Fuente propia)

## 9.- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 9.1.- RESULTADOS OBTENIDOS EN LA “FASE 1” MEDIANTE THERM

En este apartado se analizan los resultados obtenidos en la “Fase 1” de cálculo mediante el software THERM de los cuatro supuestos diferentes, para finalmente realizar una comparativa entre ellos.

De todos los tipos diferentes de resultados visuales que ofrece el software THERM, se han analizado los referentes a temperatura y flujo de calor que son visualmente más sencillos de interpretar.

#### 9.1.1.- Resultados del “Supuesto 1”

En primer lugar, se analizan los resultados obtenidos en el “Supuesto 1”, que se refiere al puente térmico que se produce en la zona de frente de forjado del edificio en su estado natural, es decir, sin adición de ningún elemento aislante.

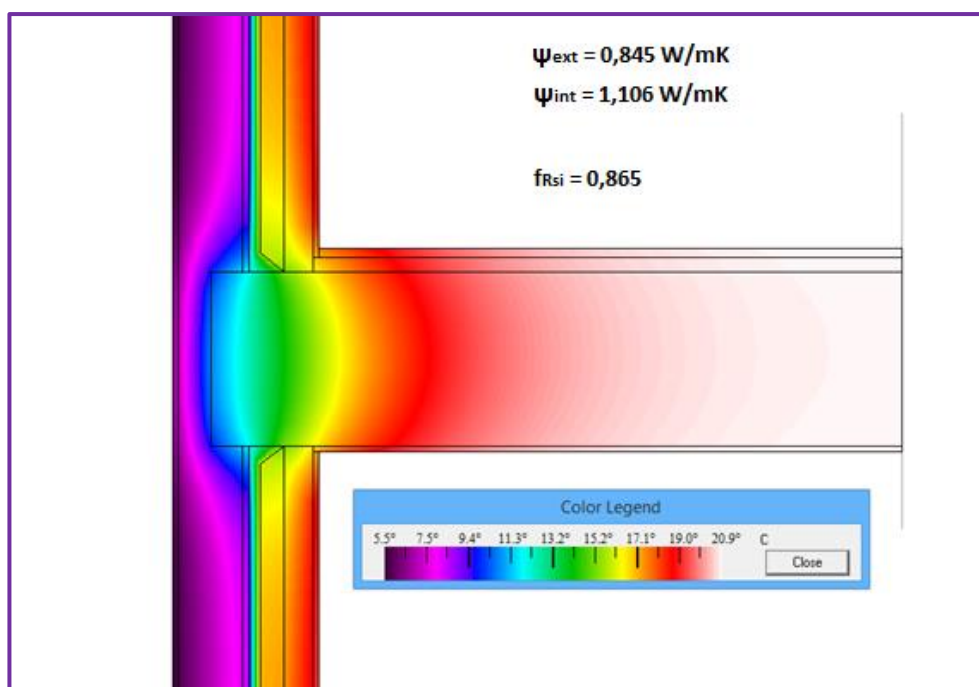


Fig. 9.1.1.1. Mapa de color de temperatura. Supuesto 1 (Fuente propia)

En este primer mapa de color (Fig. 9.1.1.1) se muestra la temperatura en cada punto del supuesto, lo que permite apreciar que las diferentes características constructivas del pavimento y del techo hacen que el puente térmico no sea simétrico, teniendo una mayor repercusión en el techo que en el suelo. El suelo, formado por una capa de hormigón en masa donde posteriormente se coloca el pavimento de gres recibido con mortero de

cemento, hace que ese conjunto de materiales tenga una resistencia térmica superior que la ofrecida por el enlucido de yeso que reviste el techo.

También se observa que el punto crítico del encuentro es justamente la zona donde el forjado se encuentra con la fachada, provocando un aumento de temperatura en la superficie exterior, lo que indica las pérdidas energéticas que están sufriendo en este supuesto.

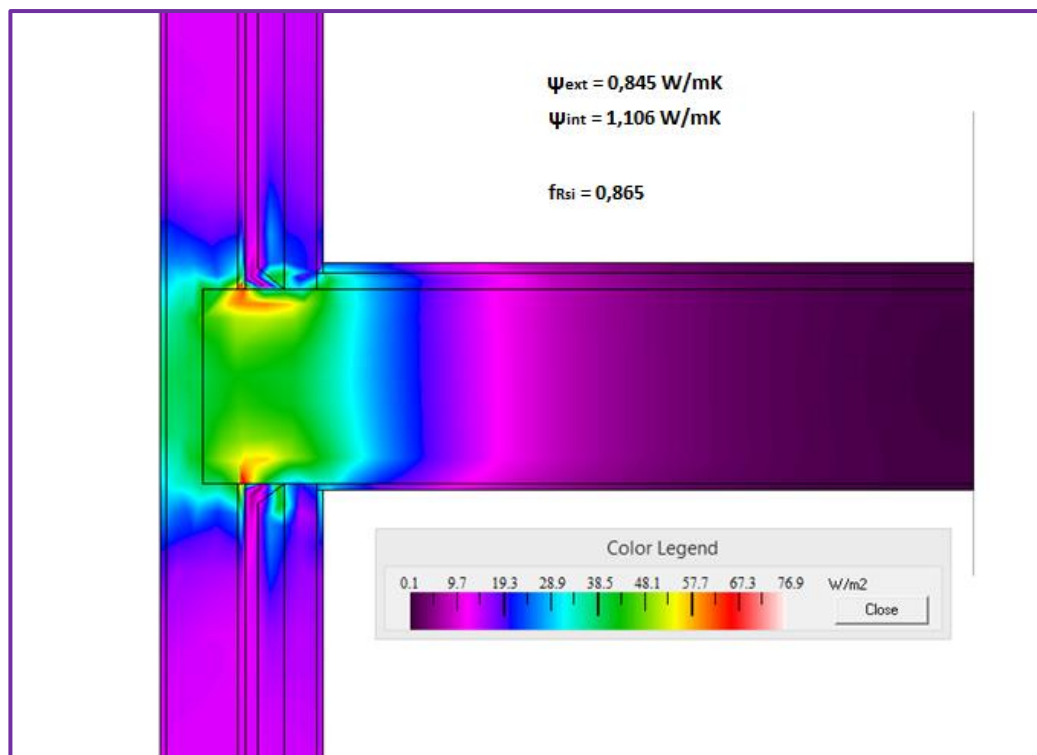


Fig. 9.1.1.2. Mapa de color de la magnitud de flujo de calor. Supuesto 1 (Fuente propia)

En la Fig. 9.1.1.2 gracias al mapa de color de la magnitud de flujo de calor, se aprecian las zonas conflictivas por donde se produce un mayor flujo de calor.

Con los cálculos realizados mediante el software THERM y manualmente en este supuesto se obtienen los resultados de las transmitancias térmicas lineales y el factor de temperatura superficial interior. Con los valores de las transmitancias térmicas (tanto interior como exterior) se describe la transferencia térmica adicional del encuentro, y el valor del factor de temperatura superficial interior es el que indica si existe riesgo de condensaciones y formación de moho.

En la Tab. 9.1.1.1 se muestran los resultados obtenidos en este supuesto.

<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EXTERIOR (<math>\psi_{ext}</math>)</b>	<b>0,845</b>	<b>W/mK</b>
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL INTERIOR (<math>\psi_{int}</math>)</b>	<b>1,106</b>	<b>W/mK</b>
<b>FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR (<math>f_{Rsi}</math>)</b>	<b>0,865</b>	

Tab. 9.1.1.1. Resultados numéricos. Supuesto 1 (Fuente propia)

### 9.1.2.- Resultados del “Supuesto 2”

A continuación, se analizan los resultados obtenidos en el “Supuesto 2”, referido al puente térmico que se produce en la zona de frente de forjado del edificio con la incorporación de la “Patente nº1. Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas”.

En la (Fig. 9.1.2.1), se puede apreciar claramente que con la incorporación de esta patente se pierde menos calor por el frente de forjado, ya que la temperatura exterior se reduce considerablemente respecto al supuesto anterior. En este caso, la patente a base de aislante embebida en el forjado aporta un buen resultado reteniendo el calor en el interior y minimizando las pérdidas energéticas.

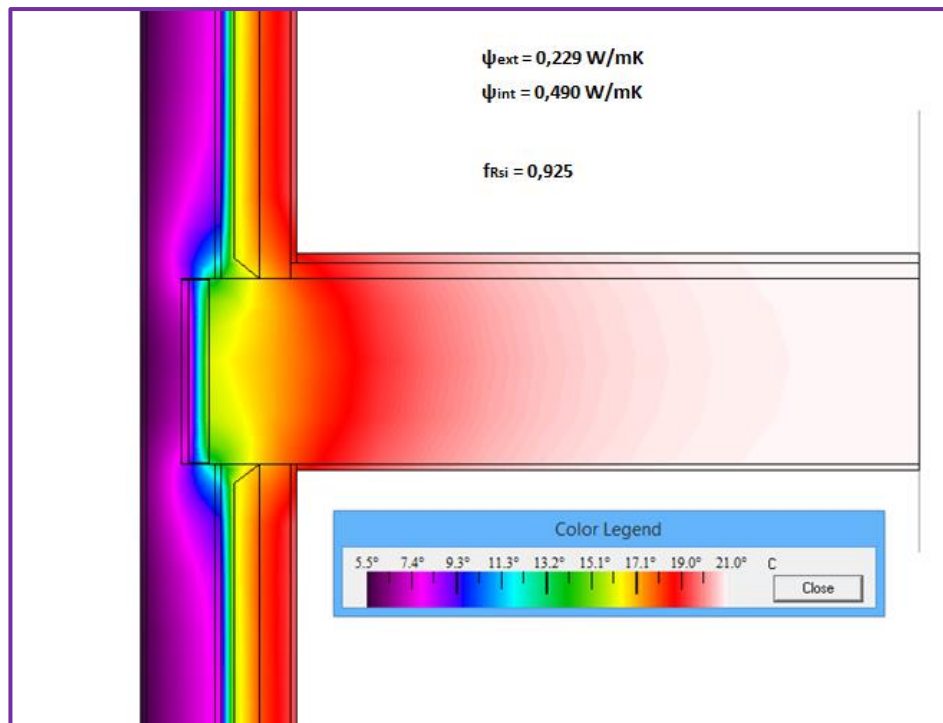


Fig. 9.1.2.1. Mapa de color de temperatura. Supuesto 2 (Fuente propia)

Si bien es cierto que este estudio está basado en un supuesto concreto, ya que, al variar el espesor del aislamiento, así como su tipo de material, podría aportar mejores o peores rendimientos.



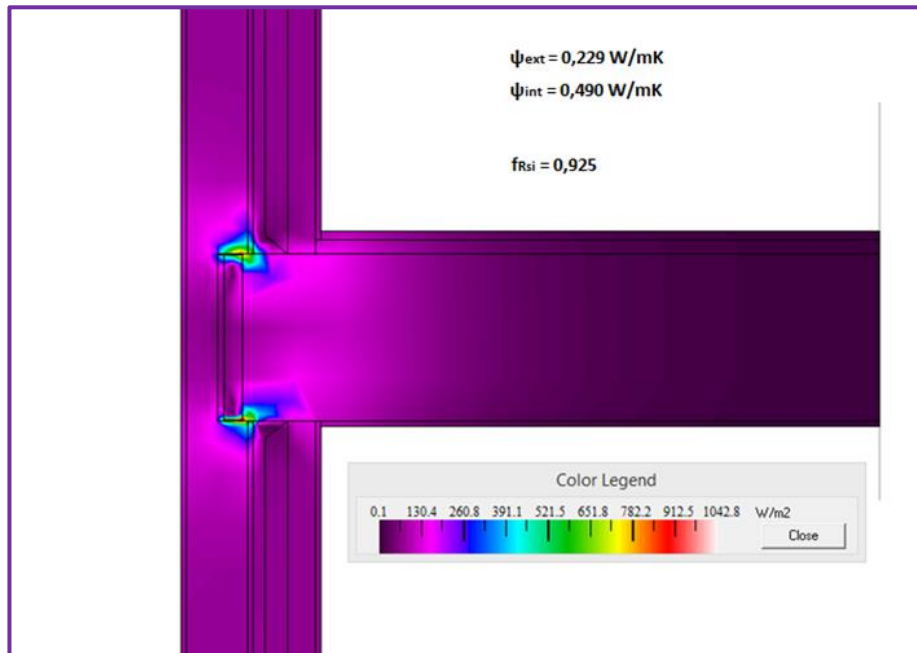


Fig. 9.1.2.2. Mapa de color de la magnitud de flujo de calor. Supuesto 2 (Fuente propia)

A pesar de haber conseguido minimizar la pérdida de calor, se puede observar en la Fig. 9.1.2.2), como siguen existiendo puntos críticos por donde pasa mayor cantidad de flujo de calor. Estas son las zonas de encuentro de la fachada y el forjado, este problema se corregiría con una adecuada solución constructiva que consiga que no se produzca una discontinuidad de aislamiento en esos puntos, por ejemplo, desplazando la capa aislante de la fachada o la plancha de aislamiento de la patente para que coincidan en la vertical evitando así la discontinuidad. Otra posibilidad sería la de aumentar el espesor de la plancha de aislamiento de la patente, sin embargo, esta opción podría afectar negativamente a la capacidad aislante del material.

Con los cálculos realizados mediante THERM y manualmente en este supuesto se obtienen los resultados de las transmitancias térmicas lineales y el factor de temperatura superficial interior. Con los valores de las transmitancias térmicas (tanto interior como exterior) se describe la transferencia térmica adicional del encuentro, y el valor del factor de temperatura superficial interior es el que indica si existe riesgo de condensaciones y formación de moho.

En la Tab. 9.1.2.1 se muestran los resultados obtenidos en este supuesto.

<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EXTERIOR (<math>\psi_{ext}</math>)</b>	<b>0,229</b>	<b>W/mK</b>
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL INTERIOR (<math>\psi_{int}</math>)</b>	<b>0,490</b>	<b>W/mK</b>
<b>FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR (<math>f_{Rsi}</math>)</b>	<b>0,925</b>	

Tab. 9.1.2.1. Resultados numéricos. Supuesto 2 (Fuente propia)

Los resultados obtenidos en este supuesto mejoran en gran medida el rendimiento energético respecto al primer supuesto.

### 9.1.3.- Resultados del “Supuesto 3”

A continuación, se analizan los resultados obtenidos en el “Supuesto 3”, referido al puente térmico que se produce en la zona de frente de forjado del edificio con la incorporación de la “Patente nº2. Recubrimiento para cantos de forjados”.

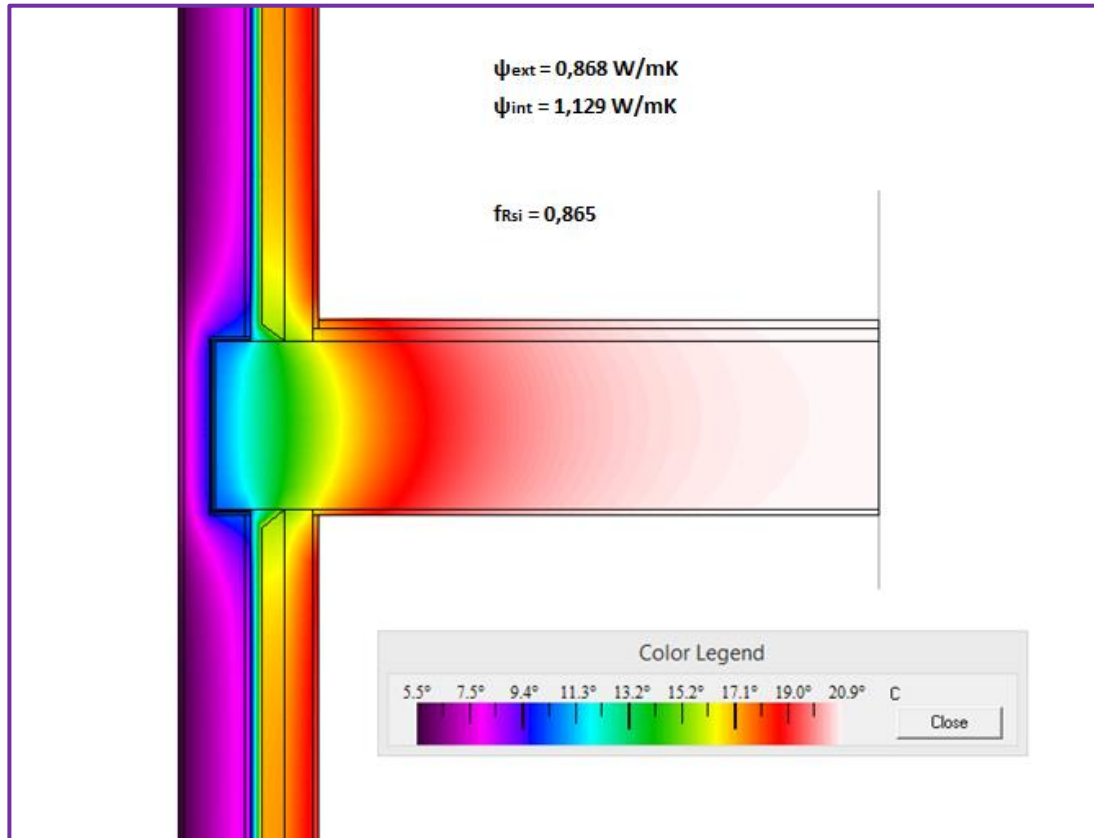


Fig. 9.1.3.1. Mapa de color de temperatura. Supuesto 3 (Fuente propia)

En este supuesto se ha incorporado una patente que, aunque consta de dos capas de polietileno, tiene en su interior una lámina de aluminio que provoca que el recubrimiento no trabaje bien térmicamente. Como se observa en la Fig. 9.1.3.1, el recubrimiento no proporciona aislamiento suficiente, siendo el mapa térmico muy parecido al que se ha obtenido en el edificio en estado natural, por lo tanto, en los cálculos se obtendrán resultados similares a los del primer supuesto.

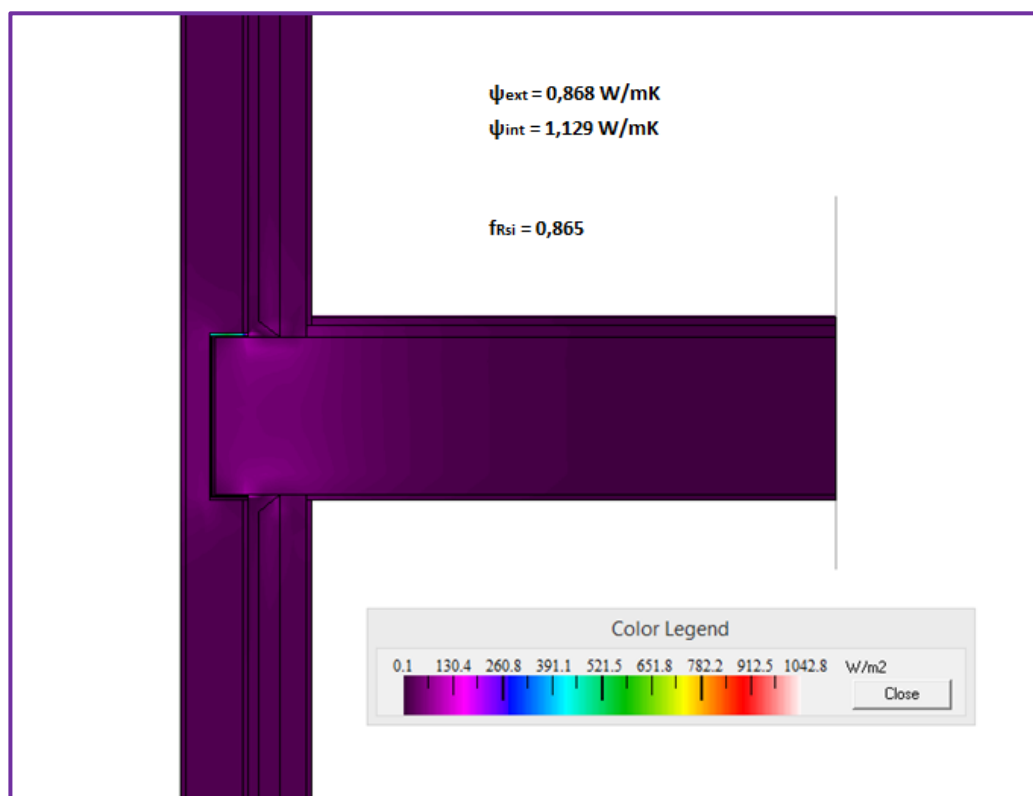


Fig. 9.1.3.2. Mapa de color de la magnitud de flujo de calor. Supuesto 3 (Fuente propia)

Sin embargo, con la incorporación de esta patente, se consigue mucha menos magnitud de flujo de calor como se aprecia en la Fig. 9.1.3.2.

Con los cálculos realizados mediante THERM y manualmente en este supuesto se obtienen los resultados de las transmitancias térmicas lineales y el factor de temperatura superficial interior. Con los valores de las transmitancias térmicas (tanto interior como exterior) se describe la transferencia térmica adicional del encuentro, y el valor del factor de temperatura superficial interior es el que indica si existe riesgo de condensaciones y formación de moho.

En la Tab. 9.1.3.1 se muestran los resultados obtenidos en este supuesto.

<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EXTERIOR (<math>\psi_{ext}</math>)</b>	<b>0,868</b>	<b>W/mK</b>
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL INTERIOR (<math>\psi_{int}</math>)</b>	<b>1,129</b>	<b>W/mK</b>
<b>FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR (<math>f_{Rsi}</math>)</b>	<b>0,865</b>	

Tab. 9.1.3.1. Resultados numéricos. Supuesto 3 (Fuente propia)

A la vista de los resultados obtenidos en este supuesto, se observa que la incorporación de esta patente provoca un comportamiento térmico ligeramente peor que en el primer supuesto en el que no se incorpora ninguna patente. Como se ha dicho anteriormente, esto puede ser debido a la lámina de aluminio del recubrimiento e incluso a los espesores reducidos que se proponen en la patente.

#### 9.1.4.- Resultados del “Supuesto 4”

A continuación, se analizan los resultados obtenidos en el “Supuesto 4”, referido al puente térmico que se produce en la zona de frente de forjado del edificio con la incorporación de la “Patente nº3. ‘Abschalungselement’. Elemento de encofrado”.

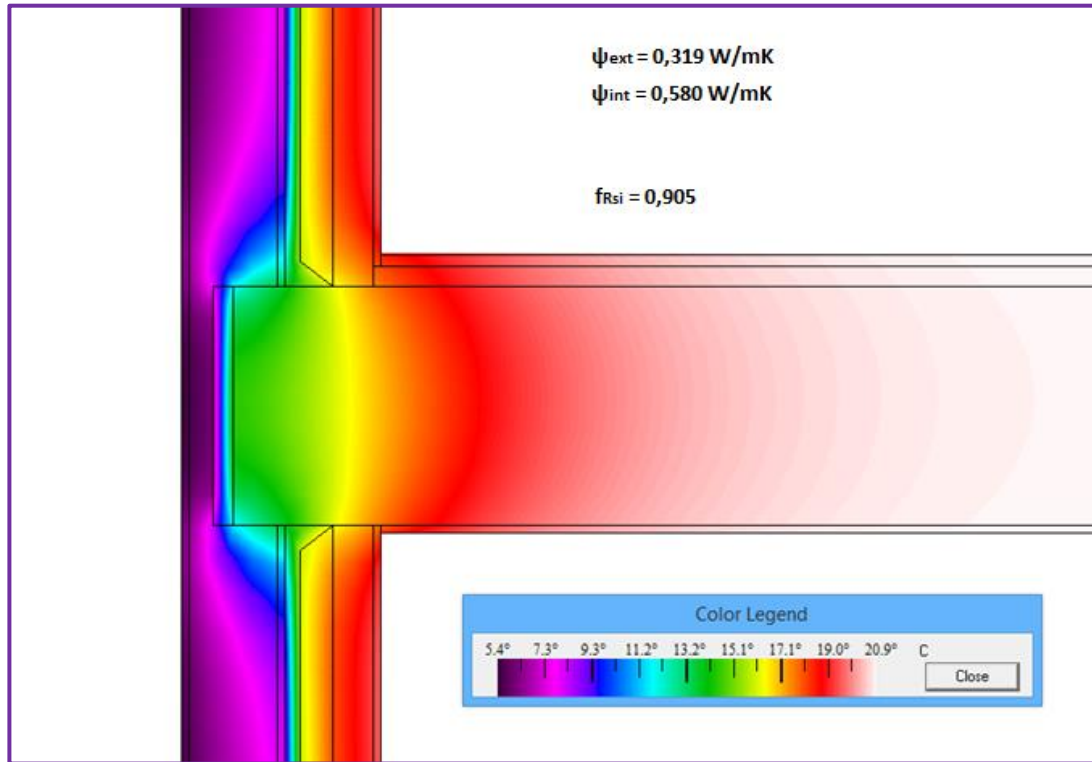


Fig. 9.1.4.1. Mapa de color de temperatura. Supuesto 4 (Fuente propia)

En la Fig. 9.1.4.1, se observa un mapa de color parecido al obtenido en el segundo supuesto, ya que esta patente guarda ciertas similitudes, al contar también con una plancha de aislamiento en el canto de forjado. La diferencia reside en que no está integrada en el forjado, sino que se coloca a modo de encofrado, por lo que se situará más cerca del exterior, obligando al emparchado a reducir su espesor. Todo esto provoca una mayor temperatura en el exterior en comparación al segundo supuesto, pero mejora en gran medida respecto al primer supuesto.

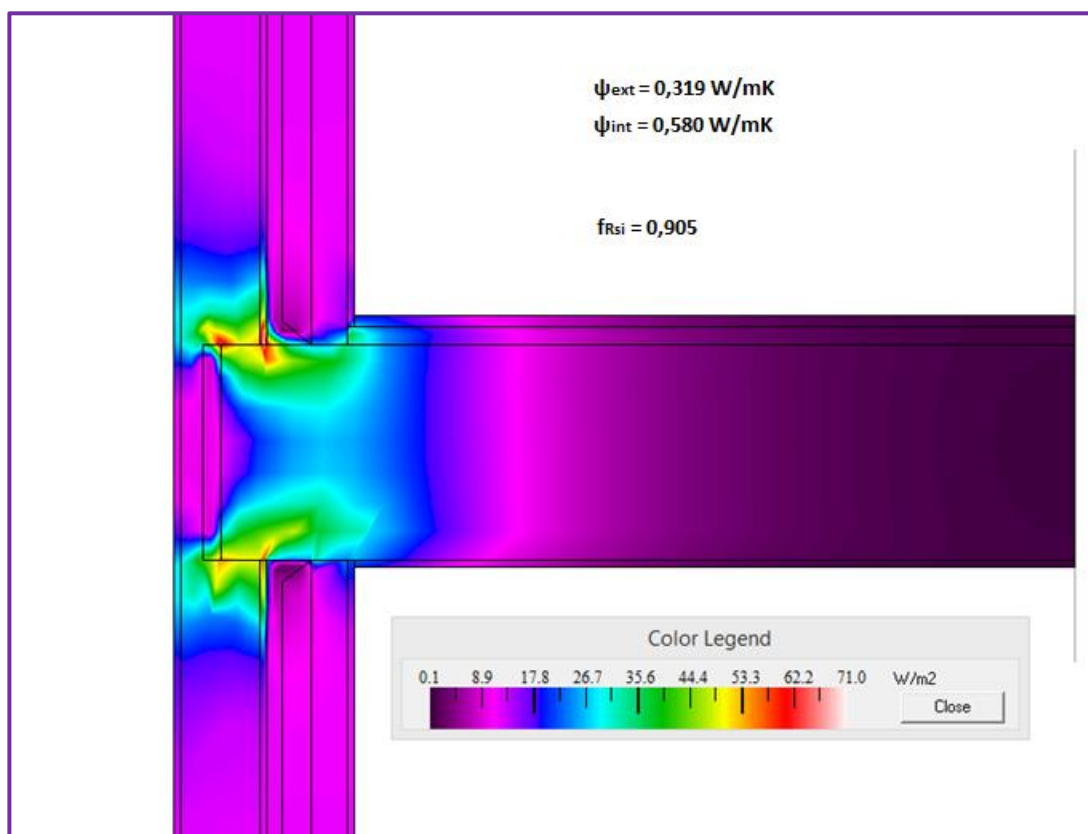


Fig. 9.1.4.2. Mapa de color de la magnitud de flujo de calor. Supuesto 4 (Fuente propia)

Como se ha comentado anteriormente, al quedar desplazada la plancha aislante se produce una mayor circulación de flujo de calor en esos puntos que en el segundo supuesto. En la Fig. 9.1.4.2 se aprecia claramente dichos los puntos.

Con los cálculos realizados mediante THERM y manualmente en este supuesto se obtienen los resultados de las transmitancias térmicas lineales y el factor de temperatura superficial interior. Con los valores de las transmitancias térmicas (tanto interior como exterior) se describe la transferencia térmica adicional del encuentro, y el valor del factor de temperatura superficial interior es el que indica si existe riesgo de condensaciones y formación de moho.

En la Tab. 9.1.4.1 se muestran los resultados obtenidos en este supuesto.

<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EXTERIOR (<math>\psi_{ext}</math>)</b>	<b>0,319</b>	<b>W/mK</b>
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL INTERIOR (<math>\psi_{int}</math>)</b>	<b>0,580</b>	<b>W/mK</b>
<b>FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR (<math>f_{Rsi}</math>)</b>	<b>0,905</b>	

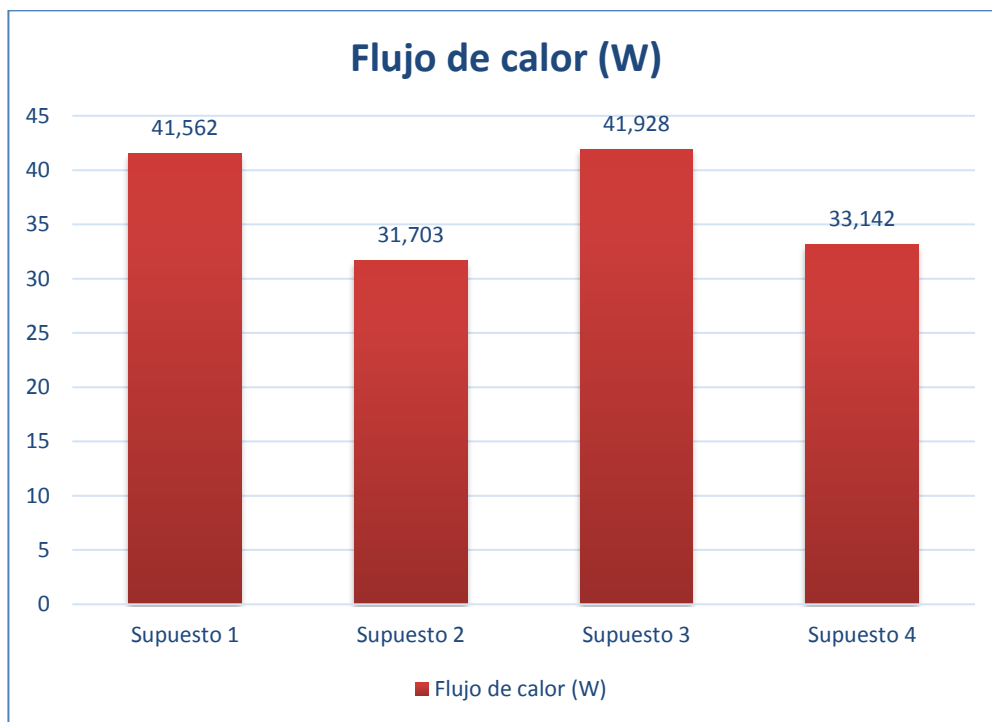
Tab. 9.1.4.1. Resultados numéricos. Supuesto 4 (Fuente propia)

Los resultados obtenidos en este supuesto son ligeramente peores que los obtenidos en el segundo supuesto, sin embargo, siguen mejorando en gran medida el rendimiento energético respecto al primer supuesto.

### 9.1.5.- Comparativa de resultados

En este apartado se ha realizado, por medio de diferentes gráficas, una comparativa de los resultados obtenidos mediante el software THERM en todos los supuestos.

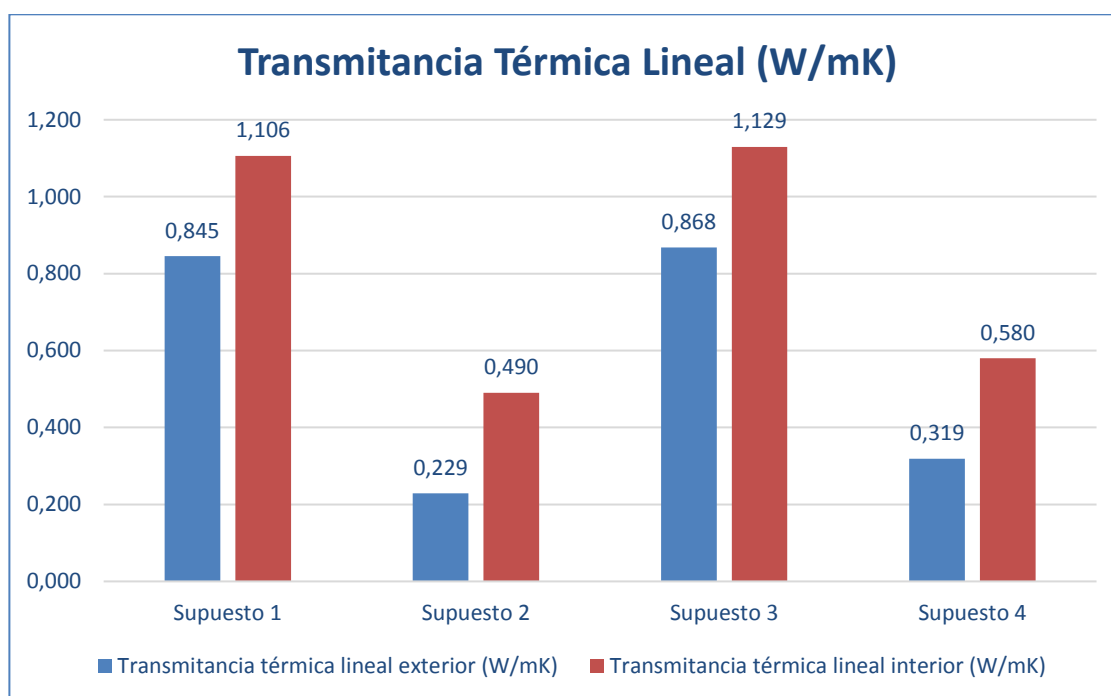
En primer lugar, se han comparado los valores de flujo de calor obtenidos en cada supuesto. El flujo de calor de cada supuesto ha sido calculado mediante el software THERM, obteniendo unos valores que se reúnen en la Graf. 9.1.1.



Graf. 9.1.1. Flujo de calor en cada supuesto. (Fuente propia)

En el primer supuesto, que corresponde al frente de forjado en estado natural (sin incorporación de ninguna patente) se obtiene un valor de 41,562 W. A partir de ese valor, se observa como en el segundo y cuarto supuesto se consigue reducir el flujo de calor en un 23,72% y un 20,26% respectivamente (31,703 W y 33,142 W), mientras que con el tercer supuesto, no solo no se reduce el flujo de calor, sino que aumenta levemente en un 0,88% (41,928 W).

En cuanto a las transmitancias térmicas lineales, se han calculado para todos los supuestos tanto la transmitancia térmica lineal interior ( $\psi_{int}$ ) con longitudes interiores, como la transmitancia térmica lineal exterior ( $\psi_{ext}$ ) con longitudes exteriores. Ambas han sido calculadas mediante la Ec. 7.



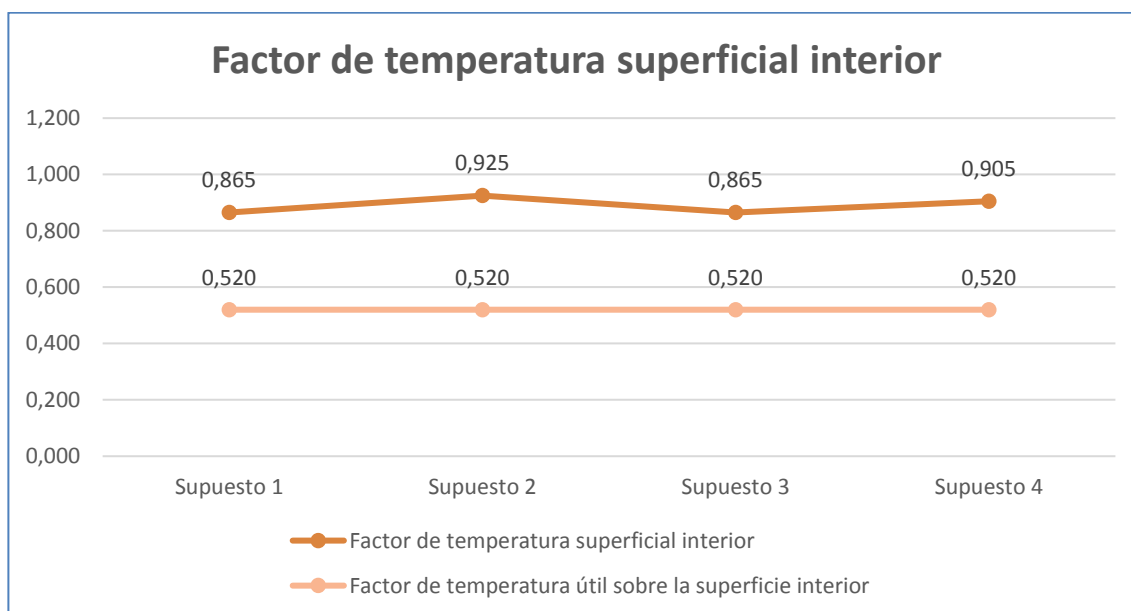
Graf. 9.1.2. Transmitancias térmicas lineales interiores y exteriores de cada supuesto (Fuente propia)

Partiendo de unas transmitancias térmicas lineales de 0,845 W/mK y 1,106 W/mK para el primer supuesto en estado natural, se observa en la Graf. 9.1.2, como en el tercer supuesto aumentan levemente las dos transmitancias, provocando una variación porcentual negativa del 2,71% y del 2,07% en cada una, mientras que en el segundo y cuarto supuesto, se reduce considerablemente con una variación porcentual positiva del 72,89% y 55,70% en el segundo, y del 62,25% y 47,57% en el cuarto.

Aunque desde el punto de vista energético el segundo y cuarto supuesto son muy similares, es necesario contemplar también el carácter constructivo de cada innovación utilizada. En este caso la patente referida al segundo supuesto “Patente Nº1. Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas” Presenta una solución constructiva que además de reducir las pérdidas energéticas consigue una homogeneidad estructural que previene de posibles desprendimientos en la fachada. Sin embargo, la “Patente Nº3. “Abschalungselement” Elemento de encofrado” que es la utilizada en el cuarto supuesto, aunque presenta buenas características energéticas, en el ámbito constructivo puede resultar deficiente, debido a que actúa como encofrado del forjado y no cumple ninguna función a nivel estructural. Por todo esto se concluye como patente más favorable la “Patente Nº1. Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas” utilizada en el segundo supuesto.

En cuanto al factor de temperatura superficial interior de cada supuesto, es un valor que se ha calculado mediante a Ec. 9, para conocer si existe riesgo de condensaciones o

formación de moho. Para ello también ha sido necesario conocer el factor de temperatura útil sobre la superficie interior mediante la Tab. 4.4.2.1. que será el valor que señala el límite del riesgo de condensaciones o formación de moho.



Graf. 9.1.3. Factor de temperatura superficial interior en todos los supuestos (Fuente propia)

Como se observa en la Graf. 9.1.3, en ninguno de los supuestos el factor de temperatura superficial interior desciende por debajo del 0,520 que marca el factor de temperatura útil sobre la superficie interior. Por lo tanto, en ninguno de los supuestos se preverán condensaciones ni formación de moho.

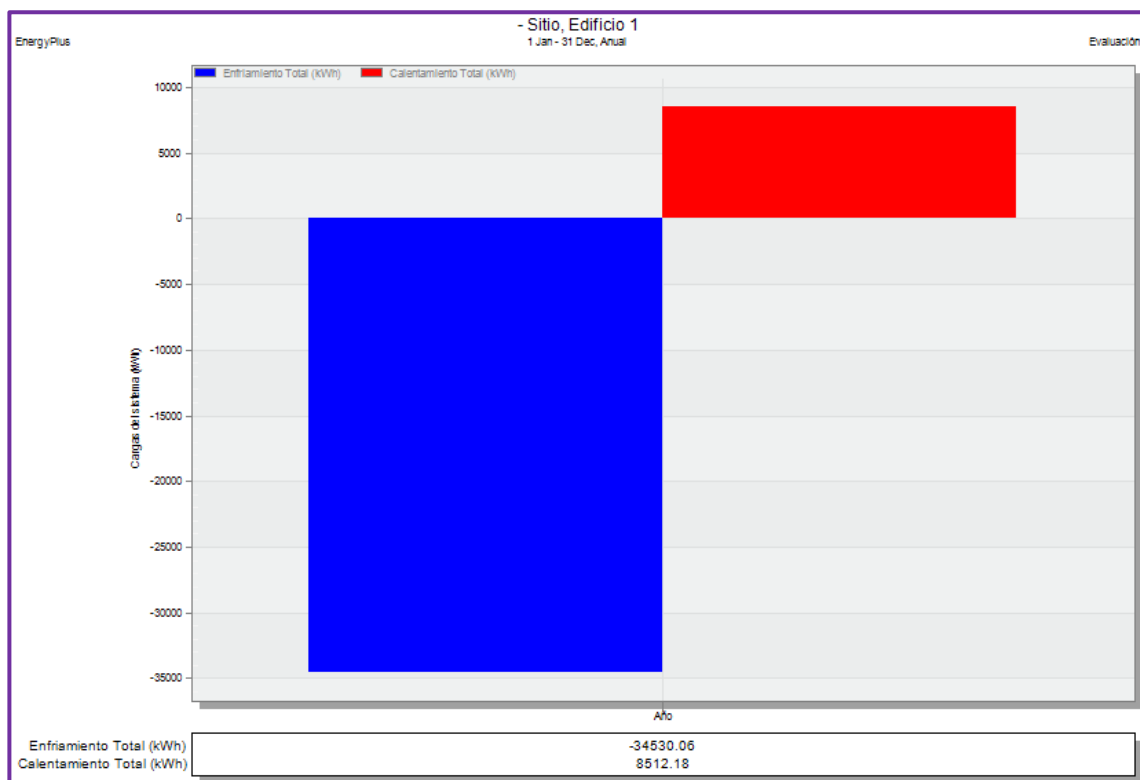


## 9.2.- RESULTADOS OBTENIDOS EN LA “FASE 2” MEDIANTE DESIGN BUILDER

### 9.2.1.- Resultados de la Simulación I

En la primera simulación energética realizada tomando como ejemplo el edificio en su estado natural, se han obtenido los siguientes valores de demanda a nivel anual, mensual y diario.

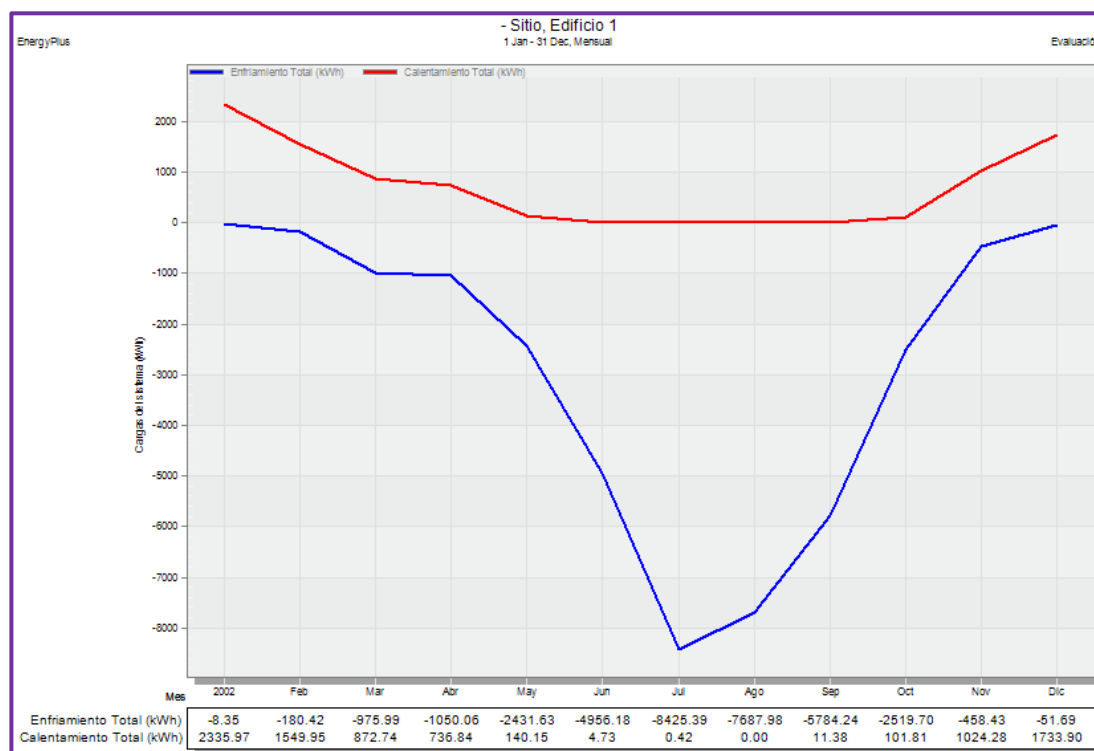
En primer lugar, se analiza la gráfica obtenida a nivel anual (Graf. 9.2.1), donde se aprecia la cantidad de demanda total a lo largo de un año necesaria tanto en calefacción como en refrigeración.



Graf. 9.2.1. Demanda energética anual. Simulación I (Fuente propia)

En este caso se observa en la gráfica de demanda como el enfriamiento total del edificio es de -34.530,06 kWh, y el calentamiento total es de 8.512,18 kWh.

Si se visualiza la gráfica con una periodicidad mensual (Graf. 9.2.2) se puede observar en que momento a lo largo del año es mayor la demanda energética del edificio.



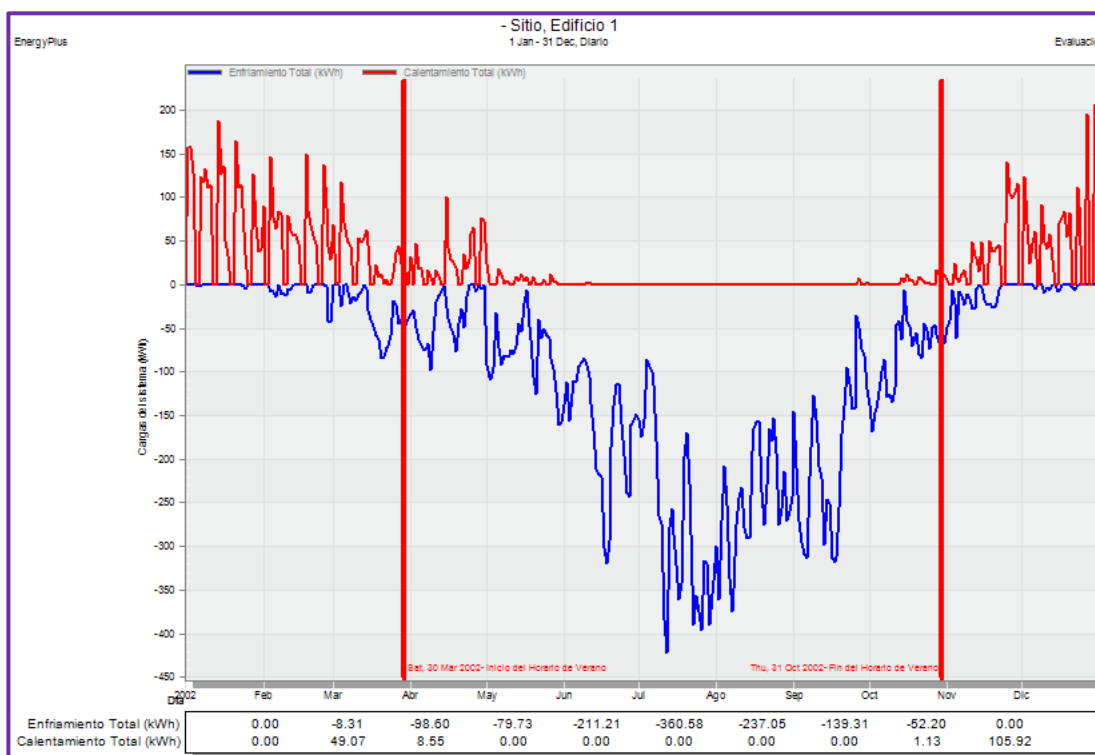
Graf. 9.2.2. Demanda energética mensual. Simulación I (Fuente propia)

En este caso el mes donde el calentamiento total es mayor (julio) corresponde a la época de invierno, mientras que el mes donde el enfriamiento total es mayor (julio) corresponde a la época de verano. Esto es debido a que en invierno es mayor la demanda de calefacción, y, por el contrario, en verano es mayor la demanda de refrigeración, observándose también como la demanda de calefacción permanece prácticamente invariable en la época de verano. A continuación, se muestra la Tab. 9.2.1.1 con los datos de demandas totales en cada mes.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-8,35	-180,42	-975,99	-1050,06	-2431,63	-4956,18
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	2335,97	1549,95	872,74	736,84	140,15	4,73
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-8425,39	-7687,98	-5784,24	-2519,70	-458,43	-51,69
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	0,42	0,00	11,38	101,81	1024,28	1733,90

Tab. 9.2.1.1. Valores de demanda energética mensual. Simulación I (Fuente propia)

En cuanto a la gráfica de demanda energética a nivel diario (Graf.9.2.3), se puede observar cómo muestra mayor variación de demanda en cada mes, aunque finalmente mantiene la misma demanda energética a lo largo del año.



Graf. 9.2.3. Demanda energética diaria. Simulación I (Fuente propia)

Las variaciones dentro de un mismo día corresponden a las distintas demandas necesarias durante cada día del mes, dependiendo también por supuesto de la estación climática en la que se encuentre. El software determina menos demanda en los fines de semana ya que supone menos ocupación del edificio durante esos días.

### 9.2.2.- Resultados de la Simulación II

En la primera simulación energética realizada tomando como ejemplo el edificio en su estado natural, se han obtenido los siguientes valores de demanda a nivel anual, mensual y diario.

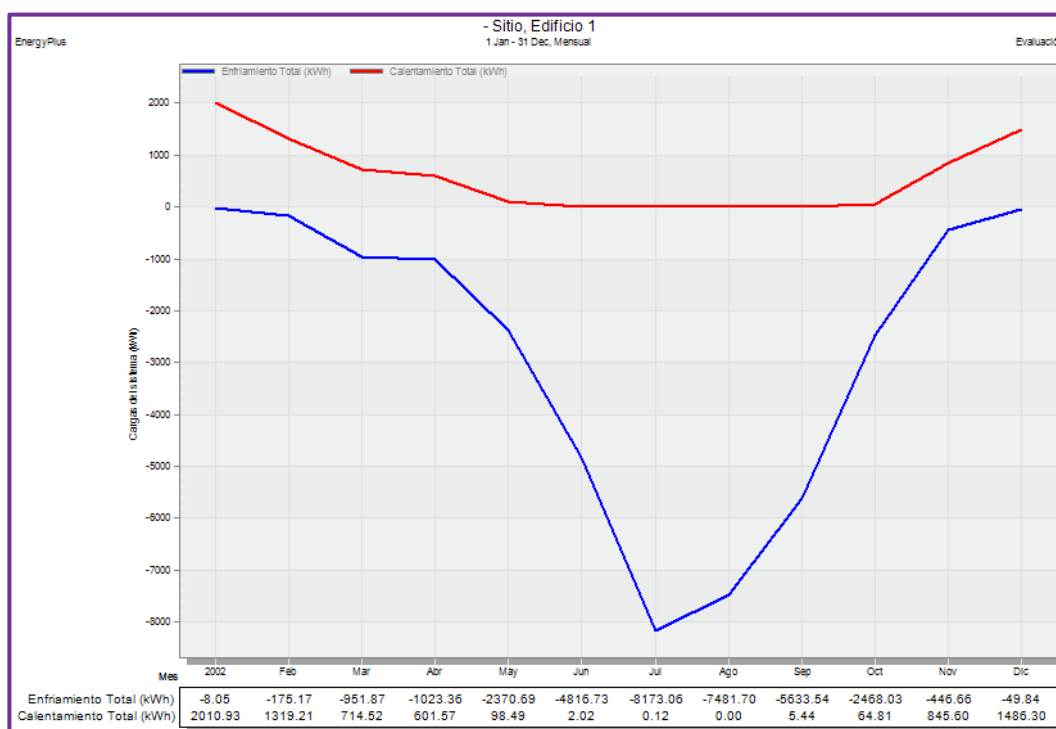
En primer lugar, se analiza la gráfica obtenida a nivel anual (Fig. 9.2.4), donde se aprecia la cantidad de demanda total a lo largo de un año necesaria tanto en calefacción como en refrigeración.



Graf. 9.2.4. Demanda energética anual. Simulación II (Fuente propia)

En este caso se observa en la gráfica de demanda como el enfriamiento total del edificio es de -33.598,70 kWh, y el calentamiento total es de 7.149 kWh.

Si se visualiza la gráfica con una periodicidad mensual (Graf. 9.2.5) se puede observar en que momento a lo largo del año es mayor la demanda energética del edificio.



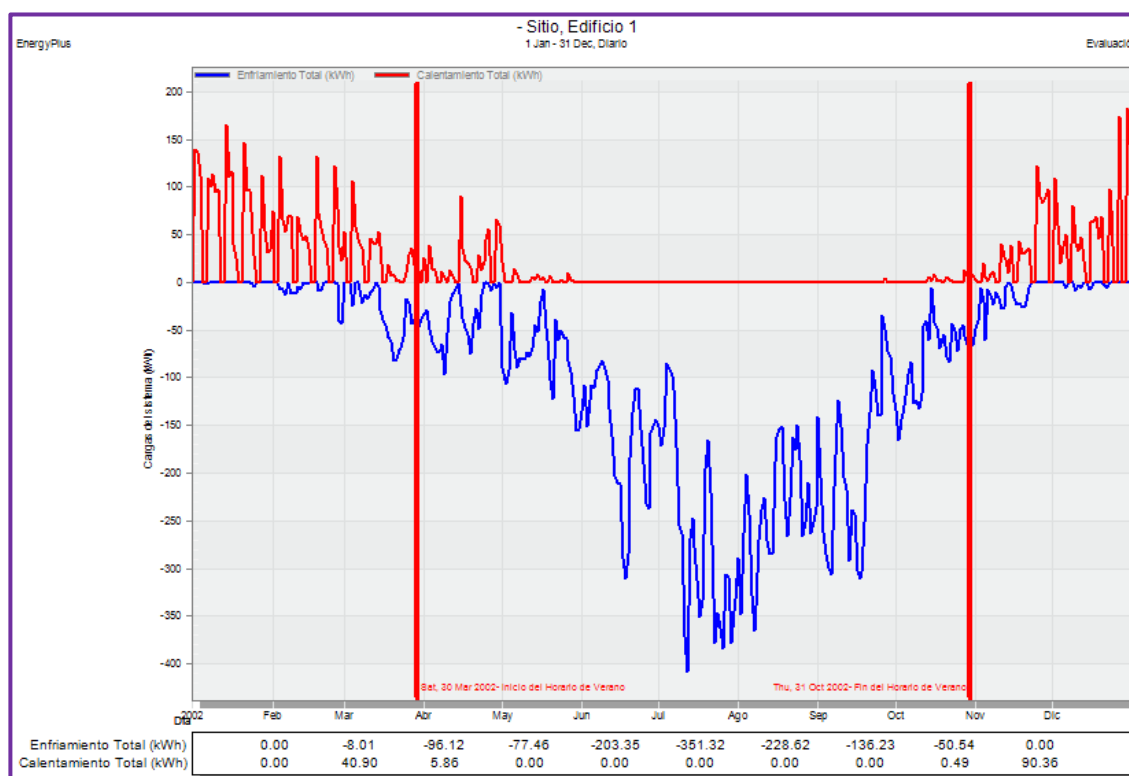
Graf. 9.2.5. Demanda energética mensual. Simulación II (Fuente propia)

En este caso el mes donde el calentamiento total es mayor (julio) corresponde a la época de invierno, mientras que el mes donde el enfriamiento total es mayor (julio) corresponde a la época de verano. Esto es debido a que en invierno es mayor la demanda de calefacción, y, por el contrario, en verano es mayor la demanda de refrigeración, observándose también como la demanda de calefacción permanece prácticamente invariable en la época de verano. A continuación, se muestra la Tab. 9.2.2.1 con los datos de demandas totales en cada mes.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-8,05	-175,17	-951,87	-1023,36	-2370,69	-4816,73
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	2010,93	1319,21	714,52	601,57	98,49	2,02
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-8173,06	-7481,70	-5633,54	-2468,03	-446,66	-49,84
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	0,12	0	5,44	64,81	845,60	1486,30

Tab. 9.2.2.1. Valores de demanda energética mensual. Simulación II (Fuente propia)

En cuanto a la gráfica de demanda energética a nivel diario (Graf. 9.2.6), se puede observar cómo muestra mayor variación de demanda en cada mes, aunque finalmente mantiene la misma demanda energética a lo largo del año.



Graf. 9.2.6. Demanda energética diaria. Simulación II (Fuente propia)

Las variaciones dentro de un mismo día corresponden a las distintas demandas necesarias durante cada día del mes, dependiendo también por supuesto de la estación

climática en la que se encuentre. El software determina menos demanda en los fines de semana ya que supone menos ocupación del edificio durante esos días.

### 9.2.3.- Comparativa de resultados

Gráficamente no hay mucha diferencia entre las dos simulaciones energéticas, como se puede apreciar a continuación en la Fig. 9.2.1.

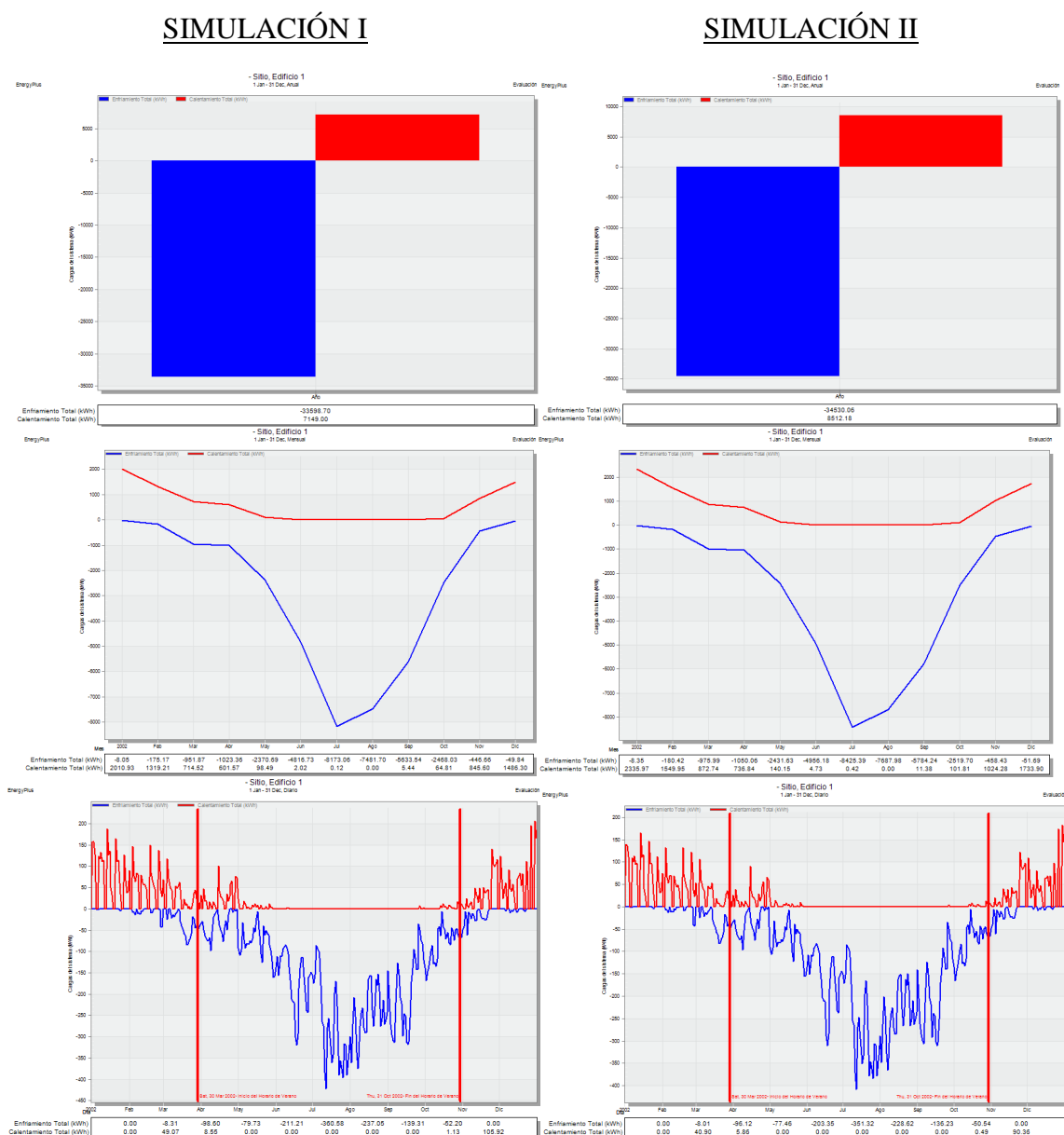


Fig. 9.2.1. Comparativa de las gráficas de las dos simulaciones (Fuente propia)

Pero realizando un análisis de los valores de las diferentes demandas en kWh, se aprecia una variación porcentual.

Se ha comenzado realizando el cálculo de dichas variaciones a nivel anual, como se muestra a continuación, en la Tab. 9.2.3.1.

	<b>Simulación I</b>	<b>Simulación II</b>	<b>Desviación porcentual (%)</b>
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-34530,06	-33598,70	<b>2,70</b>
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	8512,18	7149,00	<b>16,01</b>

Tab. 9.2.3.1. Cálculo de la desviación porcentual de la demanda a nivel anual (Fuente propia)

Por lo tanto, la incorporación de la patente produce una desviación porcentual de 2,70% de la demanda energética de refrigeración, y un 16,01% de la demanda de calefacción a lo largo de todo el año.

A continuación, se muestra en la Tab. 9.2.3.2 el cálculo de las variaciones porcentuales en cada mes a lo largo de todo un año.

	<b>Simulación I</b>	<b>Simulación II</b>	<b>Desviación porcentual (%)</b>
<b>ENERO</b>			
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-8,35	-8,05	<b>3,59</b>
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	2335,97	2010,93	<b>13,91</b>
<b>FEBRERO</b>			
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-180,42	-175,17	<b>2,91</b>
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	1549,95	1319,21	<b>14,89</b>
<b>MARZO</b>			
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-975,99	-951,87	<b>2,47</b>
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	872,74	714,52	<b>18,13</b>
<b>ABRIL</b>			
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-1050,06	-1023,36	<b>2,54</b>
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	736,84	601,57	<b>18,36</b>
<b>MAYO</b>			
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-2431,63	-2370,69	<b>2,51</b>
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	140,15	98,49	<b>29,73</b>
<b>JUNIO</b>			
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-4956,18	-4816,73	<b>2,81</b>
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	4,73	2,02	<b>57,29</b>
<b>JULIO</b>			
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-8425,39	-8173,06	<b>2,99</b>
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	0,42	0,12	<b>71,43</b>
<b>AGOSTO</b>			
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-7687,98	-7481,70	<b>2,68</b>
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>SEPTIEMBRE</b>			
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-5784,24	-5633,54	<b>2,61</b>

<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	11,38	5,44	<b>52,20</b>
<b>OCTUBRE</b>			
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-2519,70	-2468,03	<b>2,05</b>
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	101,81	64,81	<b>36,34</b>
<b>NOVIEMBRE</b>			
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-458,43	-446,66	<b>2,57</b>
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	1024,28	845,60	<b>17,44</b>
<b>DICIEMBRE</b>			
<b>Enfriamiento Total (kWh)</b>	-51,69	-49,84	<b>3,58</b>
<b>Calentamiento Total (kWh)</b>	1733,90	1486,30	<b>14,28</b>

Tab. 9.2.3.2. Cálculo de la desviación porcentual de la demanda a nivel mensual (Fuente propia)

A partir de estas variaciones porcentuales calculadas se observa es que mes se produce mayor diferencia de demanda energética entre un supuesto y otro.

Por lo tanto, se observa como la segunda simulación realizada con la incorporación de la patente minimiza las pérdidas energéticas, en menor medida la demanda de refrigeración, pero más notable en la demanda de calefacción. Cuando más se observa esta minimización de demanda es en los meses más desfavorables en invierno y en verano.

No se ha considerado necesario calcular la variación porcentual a nivel diario debido a que se obtendrá en esencia la misma variación de demanda en cada mes que la calculada anteriormente.



## 10.- CONCLUSIONES

Después de haber realizado el estudio comparativo de los puentes térmicos con las diferentes patentes, se puede extraer la conclusión de que efectivamente, las zonas de frente de forjado son muy susceptibles en lo que a pérdidas energéticas se refiere, siendo una zona conflictiva que necesita siempre una solución para minimizar dichas pérdidas. Pero las soluciones deben de estar bien estudiadas, porque algunas de ellas pueden llegar a aumentar las pérdidas energéticas, ya sea debido a los materiales que se utilicen o al espesor de los elementos que se deseen colocar, como es el caso del tercer supuesto estudiado en este PFG, donde se produce un leve incremento del flujo de calor del 0,88%, y de un 2,71% y un 2,07% en las transmitancias térmicas exterior e interior.

Algunas patentes aportan soluciones que consiguen minimizar las pérdidas energéticas en las zonas de frentes de forjado desde la primera fase de construcción, sin tener que recurrir a intervenciones futuras que puedan dañar la estructura y la homogeneidad de los elementos. Es importante realizar estas soluciones desde el primer momento debido a la obligatoriedad de los edificios de obtener un certificado energético según el Real Decreto 235/2013, modificado por el Real Decreto 564/2017, minimizando también así los posibles costes futuros asociados a la rehabilitación energética.

Gracias a los resultados que ofrece el software THERM de los puentes térmicos en los frentes de forjado con las distintas patentes, y a los cálculos manuales realizados según la normativa actual, se ha podido hacer una comparación de las innovaciones; en la que se ha obtenido como conclusión que, de todas las patentes utilizadas, aquella que previsiblemente ofrece las mejores prestaciones respecto a pérdidas energéticas en los puentes térmicos en frentes de forjado, es la denominada en este estudio como “Patente Nº1. Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas”, utilizada en el segundo supuesto. La incorporación de esta patente consigue reducir considerablemente la transmisión de calor en un 23,72% respecto a la situación inicial, y reduce también la transmitancia térmica lineal exterior e interior del puente térmico en un 78,89% y un 55,70% respectivamente.

En cuanto al estudio comparativo del efecto de los puentes térmicos en frente de forjado en la demanda energética a nivel global del edificio realizado mediante simulaciones con el software DesignBuilder, se ha comprobado que se produce una variación que disminuye la demanda del edificio al incorporar la invención de mejora de los puentes térmicos. Concretamente, a lo largo de todo el año, se consigue reducir la demanda energética de refrigeración en un 2,70%, y la demanda de calefacción en un 16,01%. Como se aprecia, dicha variación, aunque significativa a nivel de puentes térmicos, a nivel global de edificio no supone una variación tan importante.

Cierto es que existen muchas otras tipologías de puentes térmicos, no estudiadas en este Proyecto Fin de Grado, que también son susceptibles de ser analizadas y que pueden propiciar mejoras en la demanda energética. De igual manera, tampoco se ha estudiado el efecto que producen las instalaciones, siendo uno de los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de minimizar la demanda energética de un edificio.

Respecto al software utilizado, se puede concluir que en líneas generales son fáciles de utilizar, debido a la simplificación de sus operaciones. El programa THERM, por ejemplo, ha sido sencillo de manejar. Es muy útil y rápido para el cálculo de puentes térmicos en dos dimensiones a nivel de encuentro de forjados y con resultados sencillos de interpretar. El DesignBuilder, en cambio tiene un aprendizaje bastante más lento, al ser un software más completo que requiere aproximadamente un mes para su total comprensión. La versión de prueba gratuita para estudiantes, de treinta días, se hace corta para realizar una simulación al nivel de estudio que aquí se ha realizado. En este PFG por ejemplo se ha necesitado varias versiones de prueba para aprender a manejarlo correctamente y realizar e interpretar las distintas simulaciones. Cuenta con un motor de cálculo muy potente como es el EnergyPlus, que aporta una gran cantidad de resultados de las distintas variables que intervienen en sector energético del edificio.

Este Proyecto Fin de Grado también puede ser tomado como metodología para constatar la aplicabilidad de futuros modelos de patentes referidas a los puentes térmicos y modelos de utilidad antes de ser solicitados a la Oficina Nacional de Patentes y Marcas.

## **11.- FUTURAS INVESTIGACIONES**

Con las conclusiones obtenidas previamente, se propone como investigaciones futuras realizar el mismo estudio comparativo de otros tipos de puentes térmicos, como pilares en fachada, contorno de huecos, uniones de la cubierta, uniones con el terreno, entre otros, siguiendo la metodología propuesta en este Proyecto Fin de Grado, para así poder realizar un análisis comparativo global más detallado.

También se propone realizar el estudio en materia de instalaciones como calefacción o refrigeración, y sondear así la variación en la demanda energética dependiendo del sistema de instalación utilizado y comprobar las mejoras que produce. El software DesignBuilder cuenta con una potente herramienta de cálculo de instalaciones que no ha sido aprovechada en este Proyecto Fin de Grado, ya que no era tema de estudio, pero puede ser utilizado para realizar dicho estudio energético.

## 12.- BIBLIOGRAFÍA

### 12.1.- PÁGINAS WEB VISITADAS

AENOR. (2018). <http://www.aenor.es/> en septiembre de 2017.

Aprende a calcular puentes térmicos con THERM. (2017). Aurea Consulting. Recuperado de <https://ecoficiente.es/tutorial-therm/> en enero 2018.

Catálogo Fama. (2018). Biblioteca de la Universidad de Sevilla. <http://fama.us.es/> en abril 2018.

DesignBuilder: Simulación a tu alcance. (2017). Sol.arq. Recuperado de <https://www.designbuilder-lat.com/> en noviembre 2017.

IDAE. Instituto de Diversificación y Ahorro de Energía. (2018). <http://www.idae.es/> en febrero de 2018.

Informes de la construcción. (2018). <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/> en diciembre de 2017.

Librería CTE para THERM. (2018). Aurea Consulting. Recuperado de <https://ecoficiente.es/libreria-cte-para-therm/> en enero 2018.

Los puentes térmicos en edificios. (s.f.). Anfapa. Recuperado de <http://www.anfapa.com/> en septiembre de 2017.

Meteorología, A. (2018). Valores climatológicos normales: Sevilla Aeropuerto - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España. Recuperado de <http://www.aemet.es/> en enero 2018.

Normas APA. (2018). <http://normasapa.net/> en octubre de 2017.

Versiones Actuales. (2017). Aurea Consulting. Recuperado de <https://ecoficiente.es/> en noviembre 2017.

## 12.2.- REVISTAS, ARTÍCULOS, CATÁLOGOS Y MANUALES CONSULTADOS

A.N.S. (2016). Puentes Térmicos. *ITE Arquitectos*. Recuperado de <http://www.ite-arquitectos.com/> en mayo de 2017.

Anónimo. (2012). Qué son la resistencia y la transmitancia térmicas. *Eco-Lógicos*. Recuperado de <http://eco-logicos.es/> en diciembre de 2017.

Arias, N., Bobadilla, A. (2017). Evaluación experimental y análisis de la mejora con aislamiento para el caso del puente térmico en el frente de forjado. *Informes de la construcción*, 69. Doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.151>.

Asdrubali, F., Baldinelli, G., y Bianchi, F. (2012). A quantitative methodology to evaluate thermal bridges in Buildings. *Applied Energy*, 97. 365-373.

Campos, G. (2016). *THERM. Cálculo y simulación de puentes térmicos. Guía de uso*. Recuperado de <https://ecoficiente.es/> en enero de 2018.

Castro C. (2009). Puentes térmicos en CTE HE-1. *Aislamiento e Impermeabilización*. 31-34.

Castro C. (2009). Puentes térmicos en edificación. *Aislamiento e Impermeabilización*. 32-35.

Cortés, A. (2018). Guía para la redacción del proyecto de fin de grado del grado en ciencia y tecnología de la edificación. *Universidad de Sevilla*. Recuperado de <http://etsie.us.es/> en septiembre de 2017.

Díaz, M. I., y Tenorio, J. A. (s.f.). Pérdidas de calor y formación de condensaciones en los puentes térmicos de los edificios. *1ª Jornadas de investigación en construcción*. 1131-1153.

DL2G Consultoría de Formación S.L. (s.f.). Edificación. *Consumo energético vs demanda energética*. Recuperado de <http://campusenergia.com/> en febrero 2018.

Etres consultores (2017). Caracterización de frentes de forjado aislados con “Grafirol TR-32” de Grupo Valero. *Puentes térmicos de frente de forjado*. Recuperado de [www.etresconsultores.com](http://www.etresconsultores.com) en febrero 2018.

Evola, G., Margani, G., y Marletta, G. (2011). Energy and cost evaluation of thermal bridge correction in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 43. 2385-2393.

Ge, H., McClung, V. R., y Zhang, S. (2013). Impact of balcony thermal bridges on the overall thermal performance of multi-unit residential buildings: A case study. *Energy and Buildings*, 60. 163-173.

Kalamees, T., Korpi, M., Eskola, L., Kurnitski, J., y Vinha, J. (s. f.). The distribution of the air leakage places and thermal bridges in Finnish detached houses and apartment buildings.

Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. (2016). *La Energía en España 2016*. Recuperado de <http://www.idae.es/> en septiembre de 2017.

Muñoz, C., Bobadilla, A. (2012). Simulación y evaluación de puentes térmicos. *Revista de la construcción*, 12 (22). 92-111.

Ordoñez, A. (2014). Manual de ayuda DesignBuilder en español. *Sol.arq y Aurea Consulting*. Recuperado de [http://files.designbuilder.cl/200000040-92fe693f9f/ManualDB-Espa%C3%B1ol\\_2014-12-03.pdf](http://files.designbuilder.cl/200000040-92fe693f9f/ManualDB-Espa%C3%B1ol_2014-12-03.pdf) en noviembre de 2017.

Sánchez, M. (2016). Influencia de puentes térmicos en la eficiencia energética de los edificios. Caso práctico: propuestas para rehabilitación de edificio residencial. *Construible*. Recuperado de <https://www.construible.es/> en octubre 2017.

Serrano, P. (2014). Cálculo de puentes térmicos en la certificación energética de edificios. *Certificados Energeticos.com*. Recuperado de <https://www.certificadosenergeticos.com/> en noviembre 2017.

YTONG (2011). Coeficientes de transmisión térmica lineal  $\psi$  y factores de temperatura  $f_{rsi}$  para detalles tipo en construcciones con elementos de hormigón celular Ytong. *Catálogo de Puentes Térmicos YTONG*. Recuperado de <https://www.ytong.es/> en mayo 2017.

### 12.3.- PATENTES CONSULTADAS

Egger, Walter, Saanen, CH. (1984). *N.º DE 3542651 A1*. Alemania. Recuperado de WIPO (World Intellectual Property Organisation).

Ibañez, A. M. (2016). *N.º 2534253*. Navarra. Recuperado de INVENES.

López, R. (2013). *N.º 2387165*. Madrid. Recuperado de INVENES.

Ortega, H., Moyano, J., Marín, D., Rico, F., & Moreno, A. (2015). *N.º 2537251*. Sevilla. Recuperado de INVENES.

Puyal, J. C. (2003). *N.º 2193884*. Zaragoza. Recuperado de INVENES.

Torres del Rosario, C. (2008). *N.º 2299292*. Madrid. Recuperado de INVENES.

#### 12.4.- TRABAJOS ACADÉMICOS CONSULTADOS

Arroyo, A. I. (2016). Estudio de ahorro de energía y mejora de eficiencia energética y sostenibilidad. Aplicación a un caso de edificio plurifamiliar en el sector mediterráneo (Proyecto Fin de Grado). Universidad de Sevilla. Sevilla.

Bustamante, J. (2014). Modelo para el estudio y análisis de la eficiencia energética en edificios patrimoniales (Trabajo Fin de Máster). Universidad de Sevilla. Sevilla.

Del Rincón, C. (2012). Caracterización térmica de muros y simulación energética de un edificio histórico (Proyecto Fin de Grado). Universitat Politècnica de Valencia. Valencia.

Facchini, E. (2014). Analisi termografiche per la valutazione delle dispersioni e studio del comportamento energetico in clima mediterraneo. Un caso di studio a Siviglia (Tesis). Università di Bologna, Italia.

Moreno, J. (2011). Evaluación energética de los puentes térmicos en edificación (Trabajo Fin de Máster). Universidad politécnica de Madrid. Madrid.





## **13.- ANEXOS**

### **13.1.- ANEXO II. PATENTES**

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 537 251**

21 Número de solicitud: 201301021

51 Int. Cl.:

**E04B 1/76** (2006.01)

**E04B 5/32** (2006.01)

12

## SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**25.10.2013**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**03.06.2015**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA (100.0%)**  
**Paseo de las Delicias s/n - Pabellón de Brasil**  
**41013 Sevilla ES**

72 Inventor/es:

**ORTEGA LÓPEZ , Humberto ;**  
**MOYANO CAMPOS, Juan José;**  
**MARÍN GARCÍA , David ;**  
**RICO DELGADO, Fernando y**  
**MORENO MUÑOZ , Antonio**

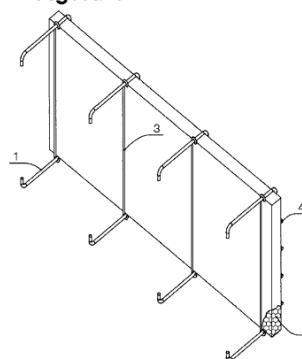
54 Título: **Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas**

57 Resumen:

La presente invención tiene por objeto una estructura de aislamiento térmico integrada en los frentes de forjados; compuesta por unas varillas o mallazos de acero galvanizado o bien con chapa perforada o desplegada; que junto a las horquillas de sujeción forman una estructura de espesor variable entre 20 y 60 mm de espesor aproximadamente con altura igual al canto del forjado y que se fija a las vigas perimetrales del forjado evitando así la pérdida de transmisión de calor que genera el corte de los cerramientos a la altura de los mismos.

Esta invención tiene su aplicación dentro de la industria de la construcción y más concretamente en la fabricación destinada a soluciones tecnológicas en aislamientos térmicos y acústicos. De la misma manera puede ser fabricada por la industria de la edificación con carácter prefabricado.

**Figura 4**



## DESCRIPCIÓN

Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas

### 5 Objeto de la invención

La presente invención tiene por objeto una estructura de aislamiento térmico en frente de forjados compuesta por unas varillas o mallazos de acero galvanizado que junto a las horquillas de sujeción forman una estructura de espesor variable entre 20 y 60 mm de aislamiento con altura igual al canto del forjado y que se fija a  
10 las vigas perimetrales del forjado evitando así la pérdida de transmisión de calor que genera el corte de los cerramientos a la altura de los mismos.

Esta invención tiene su aplicación dentro de la industria de la construcción y más concretamente en la fabricación destinada a soluciones tecnológicas en aislamientos térmicos y acústicos. De la misma manera puede ser fabricada por la  
15 industria de la edificación con carácter prefabricado.

### Estado de la técnica

Actualmente, existen en el mercado algunos productos de aislamientos aplicables a la construcción cuya calidad se encuentra contrastada y que resuelven en la  
20 mayoría de los casos los problemas de confort en las edificaciones. No obstante, hay determinadas zonas como pueden ser los frentes de forjados y frente de losas de hormigón que no están debidamente resueltas, sobre todo en los sistemas constructivos tradicionales. Estos sistemas constructivos la mayoría de las veces se encuentran resueltos con un cerramiento cerámico compuesto por una hoja de  
25 fábrica de medio pie de espesor macizo, cámara y tabique y el emparchado de ladrillo sobre el frente de forjado sin ningún elemento que solucione el puente térmico. Es el denominado puente térmico "lineal" no integrado en la fachada y que se forma por intersección del cerramiento y particiones de un forjado. Estos puentes térmicos originan una pérdida de calor adicional a la transmitancia térmica  
30 de los cerramientos del edificio. A raíz de la aparición del Código Técnico de la Edificación en el año 2006, donde se recogen las mejoras en los avances de la eficiencia energética de los edificios, se hace necesario articular un sistema que resuelva el puente térmico en el frente de forjado con cerramientos cerámicos tradicionales. Hasta este momento para solucionar dicho puente térmico, se  
35 utilizan diversos métodos, siendo el más habitual colocar una banda de aislamiento térmico reflectivo multicapa sobre el frente del forjado, una vez que

éste se encuentra hormigonado, procediéndose en el momento de colocar el  
 cerramiento de la fábrica exterior del edificio. La banda de aislamiento se sitúa  
 entre la cara interna del muro, formada por una un simple emparchado de ladrillo y  
 el frente de forjado. Esta opción de aplacar un aislante sobre el frente de forjado  
 5 requiere de un procedimiento laborioso y de gran inestabilidad constructiva.  
 Además presenta el inconveniente de retrasar el proceso de ejecución de la  
 albañilería, aumentando el coste de producción. Los sistemas de aislamiento que  
 evitan el puente térmico en los frentes de forjado, de las fachadas tradicionales, al  
 ser muy flexibles, no ofrecen garantía de estabilidad para el emparchado de  
 10 ladrillo, corriendo el peligro de fisurarse lo cual permite la entrada de agua, o en el  
 peor de los casos acarrear desprendimientos parciales de la fachada (patología  
 muy frecuente al paso del tiempo).

Si éstos emparchados se refuerzan con mallas embebidas en su enfoscado  
 o revestimiento, se enmascara el problema pero no es una solución estable y  
 15 duradera. Por ello, cualquier emparchado de ladrillo que se apoye o se reciba  
 sobre planchas de aislamiento, cuyo material no es de carácter pétreo o rígido,  
 aumenta de manera acelerada su peligro de desprendimiento, ya que no se  
 integra estructuralmente en la fachada cerámica y además, es más sensible a los  
 movimientos ocasionados por las dilataciones térmicas; quedando por tanto en  
 20 precaria situación de estabilidad.

Con esta nueva invención el proceso de fabricación de la fábrica de ladrillo  
 se hace más estable en estas bandas de los forjados, facilitando así mejores  
 secciones de aislamiento y mejores resultados en la evaluación de pérdidas  
 térmicas de la fachada.

25 Se ha realizado una búsqueda y hasta este momento no hemos encontrado  
 invenciones similares. Por lo tanto el objetivo de la presente invención pretende  
 superar todos los inconvenientes descritos, en las fachadas cerámicas, que son  
 las más comunes en la edificación.

De la investigación de documentos, bibliográficos o de patentes que reflejen el  
 30 estado de la técnica sobre el tema se han detectado el siguiente modelo de  
 utilidad:

Número de Publicación: ES1076842 U (27.04.2012)

También publicado como: ES1076842 Y (24.07.2012)

Número de Solicitud: U201131055 (13.10.2011)

Solicitante: Ingeniería Ligera, S.L. (ES)

C/ Río Vadillo, 3 19005 Guadalajara Guadalajara ESPAÑA

Este modelo de utilidad que se enuncia no resuelve la falta de adherencia del emparchado en el frente de forjado, ya que dicho elemento contacta con el propio aislamiento, aumentando el riesgo de desprendimiento. En otro sentido la estructura que se plantea es más cara y de mayor complejidad en su instalación y montaje. De esta forma no queda resuelta la conexión con los elementos estructurales. La invención que se propone además de resolver todos estos inconvenientes, presenta una flexibilidad que permite la maniobrabilidad y manipulación entre los hierros de las vigas de borde del forjado, para hacerlo solidario con la estructura horizontal.

10

### **Descripción del contenido de las figuras**

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de la invención, se acompaña a la memoria descriptiva formando parte de la misma, las siguientes figuras, con carácter ilustrativo y no limitativo:

15

Figura 1.- Vista de la planta del sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas, con sujeción de aislamiento mediante varillas o mallazos y horquillas o conectores. (EAFF1)

20

1. Varillas o conectores a la estructura del forjado (diámetro según cálculo)
2. Aislamiento térmico
3. Horquillas de sujeción
4. Varillas horizontales

Figura 2.- Vista de la sección transversal del sistema EAFF1.

25

Figura 3.- Vista del alzado posterior del sistema EAFF1.

Figura 4.- Vista en perspectiva del sistema EAFF1.

Figura 5.- Despiece del sistema EAFF1.

Figura 6.- Proyección diédrica en planta del sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas, con sujeción de aislamiento mediante chapa perforada, troquelada o desplegada (5). (EAFF2)

30

Figura 7.- Vista de la sección transversal del sistema EAFF2.

Figura 8.- Vista del alzado exterior del sistema EAFF2.

Figura 9.- Vista en perspectiva del sistema EAFF2 definido en la figura 7.

Figura 10.- Despiece del sistema EAFF2 definido en la figura 7.

35

**Descripción de la invención**

El sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados, es un sistema que se coloca durante la ejecución material de los forjados convencionales que se practican en la edificación y las construcciones civiles. Dicho sistema se coloca en el momento de disponer las armaduras que conforman el forjado y por tanto, previo al hormigonado del mismo. El sistema de gran utilidad consiste en un mallazo industrial de acero galvanizado (sistema EAFF1) que puede ser sustituida por una chapa perforada o de tipo desplegada (sistema EAFF2). Este mallazo o chapa proporciona la rigidez al sistema. Unida a la estructura descrita se prolongan una serie de horquillas de acero galvanizado que sujetan la placa de aislamiento térmico (poliestireno extrusionado de espesor variable 20 a 60 mm o bien de poliuretano y también puede ser de fibras minerales). Estas varillas se unen a unas horquillas o conectores de acero galvanizado que están sujetas al mallazo mediante alambre o soldadura y son las piezas que sirven de anclaje a las armaduras principales de las vigas perimetrales de los forjados convencionales, haciendo el sistema solidario a la estructura.

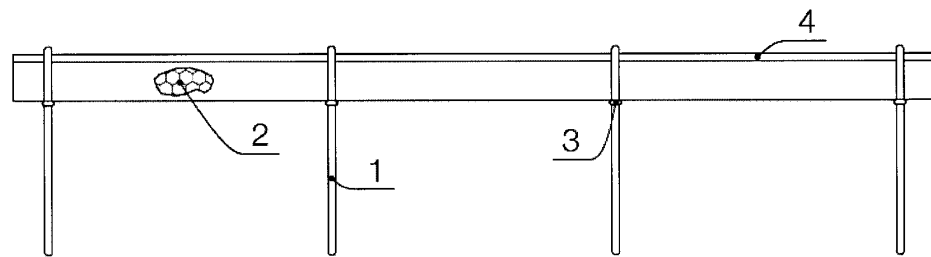
La descripción de esta invención, en sus distintas modalidades, queda claramente explicadas en las figuras, estando constituido el sistema por:

- a) un soporte exterior a base de chapa desplegada, chapa perforada o troquelada o bien estructura reticular de redondos de acero, o mallazos prefabricados.
- b) una placa de aislamiento térmico adherida o integrada en el soporte anterior que según los casos, puede estar constituida por poliestireno extrusionado o expandido, poliuretano, lana de roca o cualquier otro aislamiento que se pueda conformar en planchas de espesores en torno a los dos o seis centímetros aproximadamente, según los cálculos.
- c) el soporte metálico y la placa aislamiento quedan unidos a unos conectores metálicos constituidos con redondo de acero estructural, pletinas u otro perfil metálico existente, que se une por soldadura al soporte exterior, constituyendo todo ello una unidad que se integra al forjado antes de hormigonar y queda empotrada y solidaria al mismo; capaz de soportar el peso de la fachada del edificio.

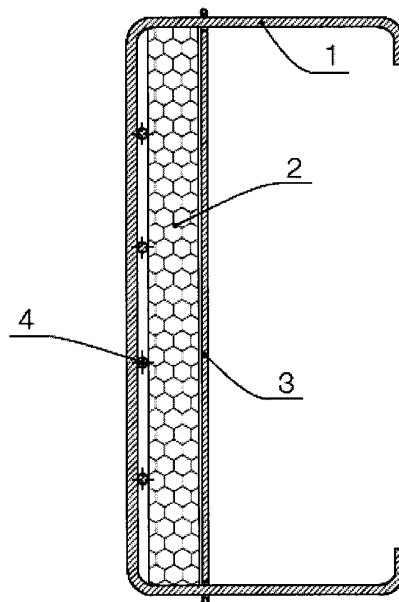
## REIVINDICACIONES

1. Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para fachadas cerámicas caracterizado porque está constituido por
  - 5 a) un soporte exterior (3,4,5) a base de chapa desplegada, chapa perforada o troquelada o bien estructura reticular de redondos de acero, o mallazos prefabricados, para albergar el aislamiento.
  - b) una placa de aislamiento térmico (2) adherida o integrada en el soporte anterior que según los casos, puede estar constituida por poliestireno  
10 extrusionado o expandido, poliuretano, lana de roca o cualquier otro aislamiento que se pueda conformar en planchas de espesores en torno a los dos o seis centímetros aproximadamente con altura igual al canto del forjado
  - c) Conectores metálicos (1) constituidos con redondo de acero estructural,  
15 pletinas u otro perfil metálico existente, que unen el soporte metálico y la placa de aislamiento y que se une por soldadura al soporte exterior, constituyendo todo ello una unidad que se puede prefabricar e industrializar.
2. Sistema estructural contra el puente térmico en frente de forjados para  
20 fachadas cerámicas según reivindicación anterior caracterizado porque la unidad descrita que se fija a las vigas perimetrales del forjado (11) ante de hormigonar para conseguir un anclaje perfecto al quedar monolíticamente unida a la estructura perimetral del forjado; evitando así la pérdida de  
25 transmisión de calor que genera el corte de los cerramientos a la altura de los forjados.

**Figura 1**

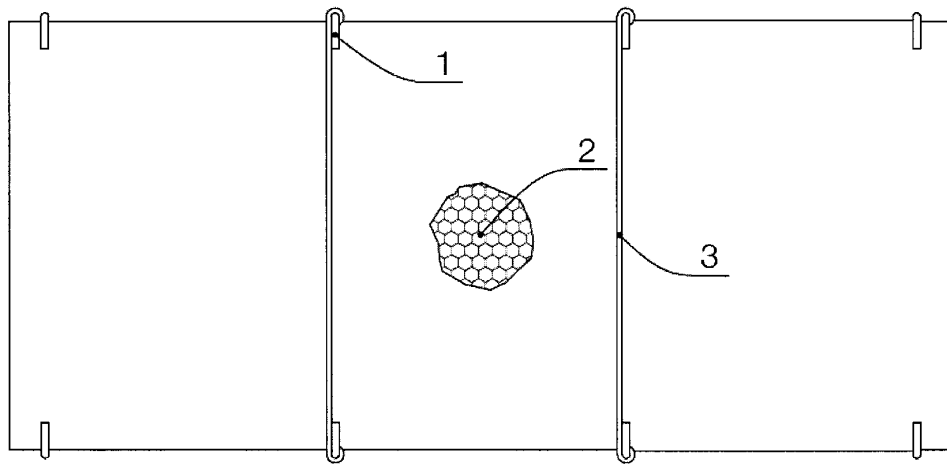


**Figura 2**

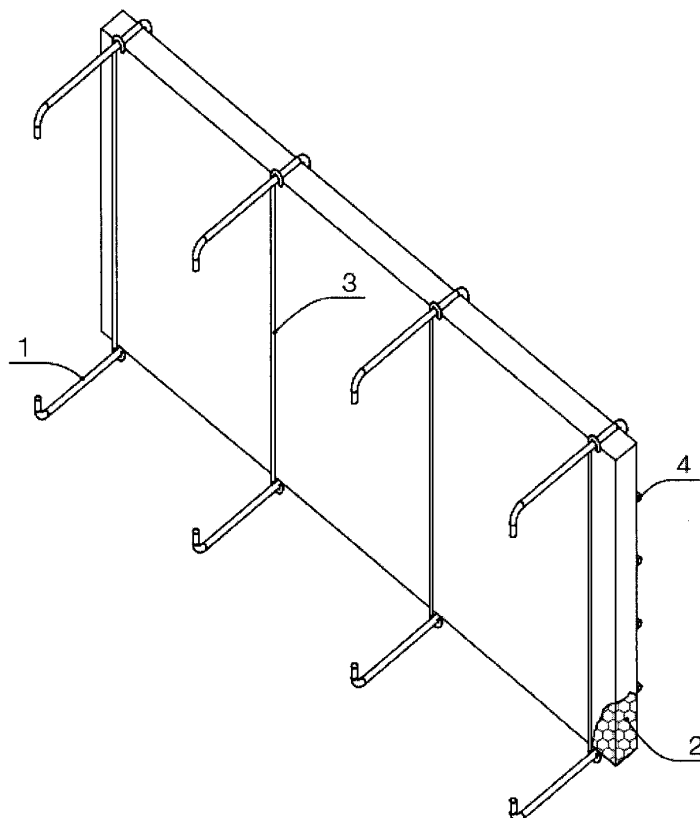




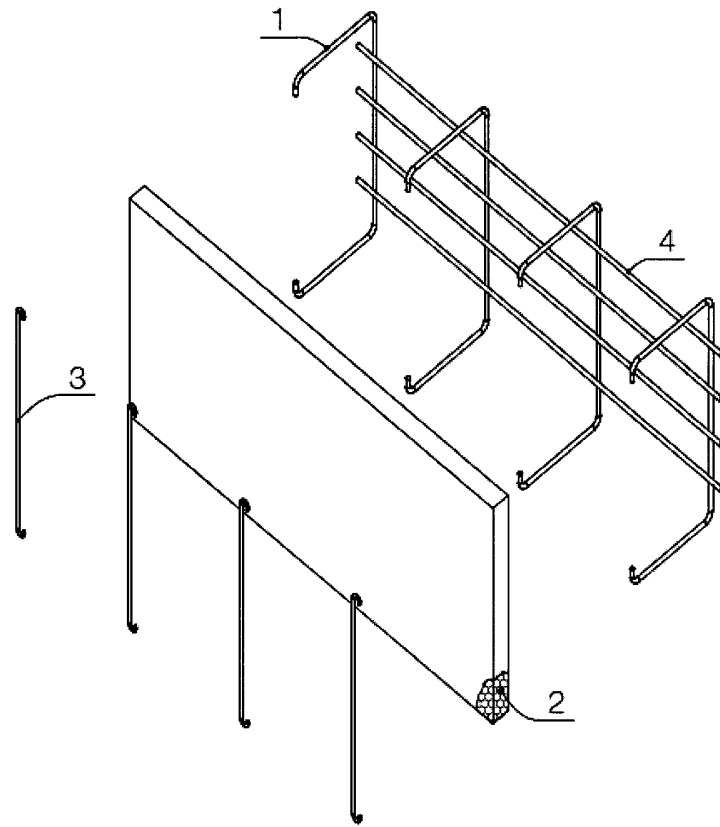
**Figura 3**



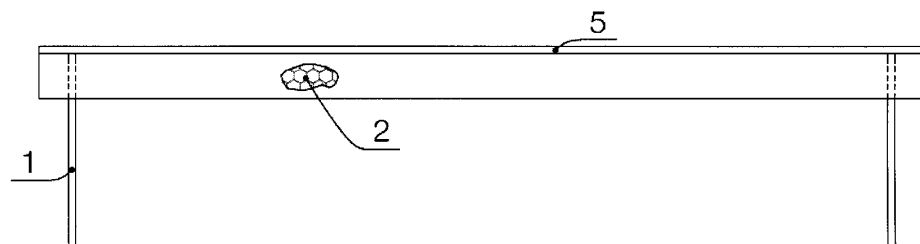
**Figura 4**



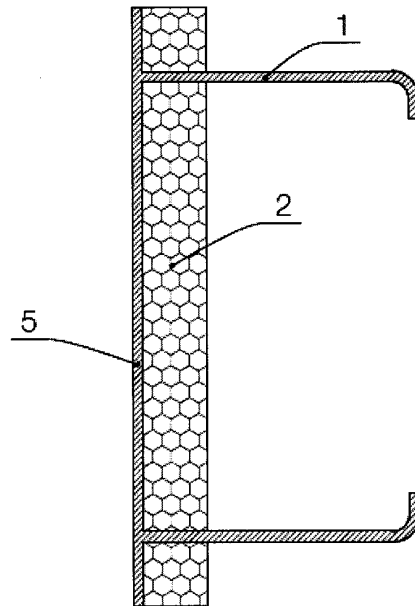
**Figura 5**



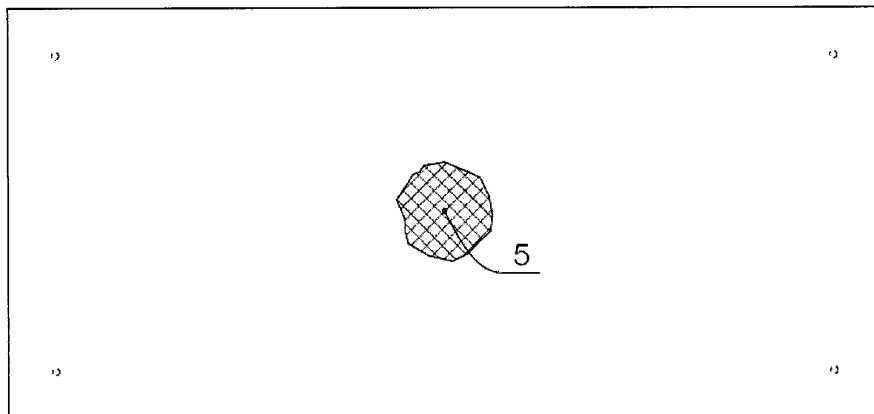
**Figura 6**



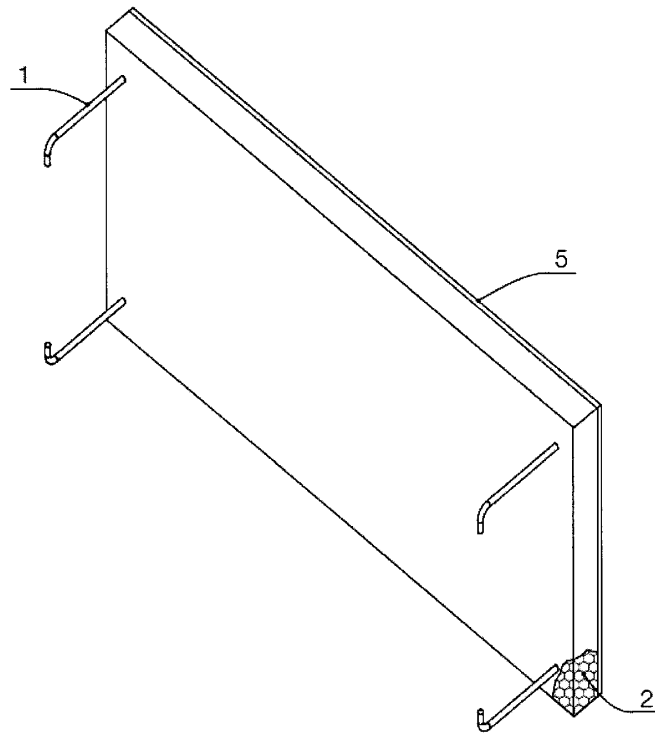
**Figura 7**



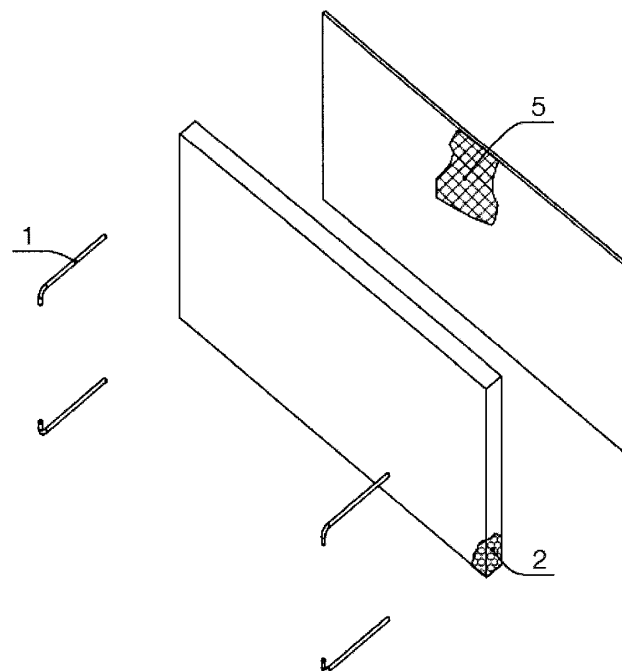
**Figura 8**



**Figura 9**



**Figura 10**





- ②① N.º solicitud: 201301021  
②② Fecha de presentación de la solicitud: 25.10.2013  
③② Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **E04B1/76** (2006.01)  
**E04B5/32** (2006.01)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	DE 3542651 A1 (EGCO AG) 26.06.1986, páginas 9-13; figuras.	1-2
A	DE 19736278 A1 (HAURATON BETONWAREN) 25.02.1999, columna 6, línea 50 – columna 7, línea 32; figura 5.	1-2
A	EP 1947256 A2 (ALBANESE PINO) 23.07.2008, párrafos [008],[010-011],[026]; figuras.	1-2
A	FR 2646681 A1 (CLAUDE JEAN LOUIS) 09.11.1990, página 3, líneas 29-35; página 4, línea 30 – página 6, línea 17; página 7, líneas 27-37; figuras.	1-2
A	DE 8505592 U1 (PRIX-WERK WIEHOFISKY) 27.06.1985, todo el documento.	1-2
A	FR 2542347 A1 (ENTREPRISES CONST SOC GEN) 14.09.1984, resumen; figuras.	1-2
A	DE 29908673 U1 (HEUBERGER AUGUSTIN) 12.08.1999, Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE; figuras.	1-2

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
31.10.2014

Examinador  
E. Balsera Porris

Página  
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

E04B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 31.10.2014

**Declaración****Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 1-2  
Reivindicaciones

SI  
NO

**Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)**

Reivindicaciones  
Reivindicaciones 1-2

SI  
NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	DE 3542651 A1 (EGCO AG)	26.06.1986
D02	DE 19736278 A1 (HAURATON BETONWAREN)	25.02.1999
D03	EP 1947256 A2 (ALBANESE PINO)	23.07.2008
D04	FR 2646681 A1 (CLAUDE JEAN LOUIS)	09.11.1990
D05	DE 8505592 U1 (PRIX-WERK WIEHOF SKY)	27.06.1985
D06	FR 2542347 A1 (ENTREPRISES CONST SOC GEN)	14.09.1984
D07	DE 29908673 U1 (HEUBERGER AUGUSTIN)	12.08.1999

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

El documento D01, que podría ser considerado como el más cercano del estado de la técnica al objeto de la invención, divulga un sistema contra el puente térmico en frente de forjados, pudiendo emplearse en fachadas cerámicas, constituido por un soporte de redondos metálicos, una placa de aislamiento adherida o integrada al soporte con altura igual al canto del forjado y unos conectores metálicos que unen el soporte y la placa de aislamiento, constituyendo el conjunto una unidad que puede ser prefabricada. Esta unidad se sitúa en el perímetro de la losa o forjado antes de hormigonar actuando como encofrado perdido, quedando monolíticamente unido a la estructura del forjado.

Que la placa de aislamiento se sitúe a un lado o a otro del soporte podría considerarse una alternativa normal de diseño que una persona experta en la materia tendría en cuenta, siendo además suficientemente conocidos en el estado de la técnica los ejemplos de sistemas contra el puente térmico que incorporan el aislamiento en la zona interna del soporte (véase, por ejemplo, documento D02). Igualmente, los espesores de la placa de aislamiento de la invención reivindicada corresponden con valores estándar para fachadas de edificios.

A la vista del documento D01 podría considerarse que resultaría evidente para una persona experta en la materia llegar a la invención tal y como se recoge en las reivindicaciones 1 y 2. Por lo tanto, dichas reivindicaciones no implicarían actividad inventiva (Art. 8 LP11/86).

Los documentos D03 a D07 muestran el estado general de la técnica en el campo de la invención.

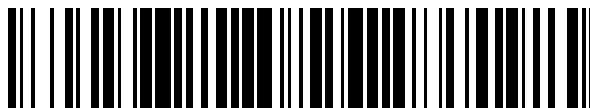


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 165**

21 Número de solicitud: 201001299

51 Int. Cl.:

**E04B 1/74** (2006.01)

**B32B 15/08** (2006.01)

12

## PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**08.10.2010**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**17.09.2012**

Fecha de la concesión:

**16.07.2013**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**26.07.2013**

73 Titular/es:

**OPTIMER SYSTEM, S.A.  
CTRA. DAGANZO, KM. 2.2. POL.IND. LA GRANJA  
NAVE 7  
28806 ALCALA DE HENARES (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**LOPEZ MUÑOZ, Rufino**

74 Agente/Representante:

**MONZÓN DE LA FLOR, Luis Miguel**

54 Título: **RECUBRIMIENTO PARA CANTOS DE FORJADO**

57 Resumen:

La presente invención tiene por objeto un recubrimiento para cantos de forjado que comprende al menos una capa de polietileno (1) y una lámina de aluminio (2) unida a dicha capa de polietileno (1) por una de sus caras, donde a la otra cara de la capa de polietileno (1) se encuentra unida una malla de revoco (4) donde se disponen los materiales que conforman el tramo de fachada correspondiente al canto de forjado (3) que permite aislar térmica y acústicamente dicha zona del forjado expuesta a puentes térmicos y acústicos ya que presenta una elevada resistencia térmica que evita la presencia de puentes térmicos en dicho punto, clave para evitar el paso de calor al interior del edificio, además de evitar el paso de vapor de agua desde el exterior al interior del forjado, lo que evita la aparición de humedades y aparición de hongos.

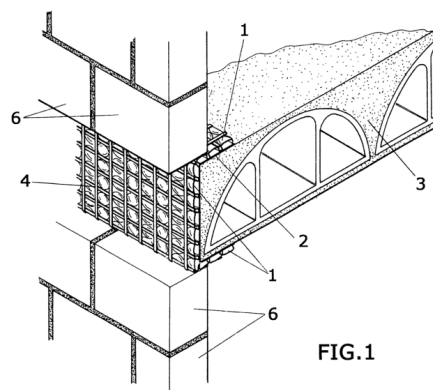


FIG.1

ES 2 387 165 B1

**RECUBRIMIENTO PARA CANTOS DE FORJADO**

**DESCRIPCIÓN**

5     **OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención tiene por objeto un recubrimiento para cantos de forjado que permite aislar térmica y acústicamente dicha zona del forjado expuesta a puentes térmicos y acústicos.

Debido a su especial configuración, el recubrimiento para cantos de forjado presenta una elevada resistencia térmica que evita la presencia de puentes térmicos en dicho punto, clave para evitar el paso de calor al interior del edificio.

Asimismo, el recubrimiento para cantos de forjado evita el paso de vapor de agua desde el exterior al interior del forjado, lo que evita la aparición de humedades por condensación del vapor de agua interior y aparición de hongos en el interior del edificio.

20     **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

25     Son conocidos en el estado de la técnica los aislantes que se emplean para aislar diferentes partes de un edificio que se colocan a lo largo de toda la superficie de una planta, forjado o fachada.

30     Entre los anteriores se encuentra la patente española con número de publicación ES1056996U relativo a un forjado para edificaciones donde en la parte superior de una base de hormigón se disponen regularmente posicionados a cada lado de la celosía sendos cuerpos de

un material ligero y aislante térmico y acústico, donde una vez colocados y conformados los elementos del forjado se hormigona formando la capa superior de compresión.

5

Sin embargo, los aislantes térmicos y acústicos anteriores no se encuentran dispuestos en el canto del forjado, con lo que existirían puentes térmicos en dicho punto, con el consecuente paso de calor al interior del edificio, ya que sobre dicho forjado se coloca una galleta de ladrillo que se une al canto del forjado mediante mortero y no deja sitio para colocar un aislante.

15

De esta manera, el aislante térmico y acústico anterior no evita el paso de vapor de agua desde el exterior al interior del forjado, lo que produce la aparición de humedades por condensación del vapor de agua interior y aparición de hongos en el interior del edificio.

20

También se conocen en el estado de la técnica las pinturas térmicas con las que se trata la fachada del edificio. Sin embargo, la resistencia térmica de estas pinturas depende del grosor aplicado, no siendo no obstante un valor que garantice la estanqueidad del forjado impidiendo el paso del calor o de la humedad.

25

Todos estos inconvenientes quedan superados mediante la invención que ahora se procede a describir.

30

### **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a un recubrimiento para cantos de forjado que permite aislar

35

térmica y acústicamente dicha zona del forjado expuesta a puentes térmicos y acústicos.

5 El recubrimiento para cantos de forjado está formado por al menos una capa de polietileno y una lámina de aluminio unida a dicha capa de polietileno por una de sus caras.

10 A la otra cara de la capa de polietileno se encuentra unida una malla de revoco donde se disponen los materiales que conforman el tramo de fachada correspondiente al canto de forjado.

15 El recubrimiento se fija al forjado en la parte superior e inferior del mismo mediante unos medios de fijación con lo que se evita la formación de puentes térmicos y acústicos en esa parte de la estructura del edificio debido a la alta resistencia térmica y acústica del mismo.

20

#### **DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

25 Se complementa la presente memoria descriptiva, con un juego de planos, ilustrativos del ejemplo preferente y nunca limitativo de la invención.

30 La Figura 1 muestra una vista en perspectiva desde el exterior del edificio del recubrimiento para cantos de forjado de la presente invención previamente a la colocación del mortero y de la galleta de ladrillo.

La Figura 2 muestra una vista en perspectiva vista desde el interior del edificio donde se observa la lámina de aluminio al seccionar parcialmente el forjado.

La Figura 3 muestra un detalle de un segundo ejemplo de realización del recubrimiento para forjado de la presente invención.

5 **EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

En un primer ejemplo de realización preferente, el recubrimiento para cantos de forjado está formado por una capa de polietileno (1) de alta densidad FR  
10 (autoextinguible) y una lámina de aluminio (2) puro 100% unida a dicha capa de polietileno (1) y en contacto con el forjado (3).

A la otra cara de la capa de polietileno (1) se  
15 encuentra unida una malla de revoco (4) donde se agarra el mortero para después colocar la galleta de ladrillo (no mostrados) para que no sobresalga del resto de la fachada de ladrillo (6) y conferirla un aspecto uniforme.  
20

El recubrimiento se fija al forjado en la parte superior e inferior del mismo mediante unos medios de fijación (5).

25 En un segundo ejemplo de realización preferente, el recubrimiento para cantos de forjado está formado por dos capas de polietileno (1) de alta densidad FR (autoextinguible) entre las que se dispone una lámina de aluminio (2) puro 100%.

30 Sobre la otra cara de una de las capas de polietileno (1), aquella que no está en contacto con el forjado (3), se encuentra unida una malla de revoco (4) donde se agarra el mortero para después colocar la galleta de ladrillo (no mostrados) y conferir a toda la  
35

fachada un aspecto uniforme.

El recubrimiento se fija al forjado de igual manera que en el primer ejemplo de realización.

5

El espesor de las capas de polietileno de alta densidad FR en los ejemplos anteriores es de 4 mm.

En otros ejemplos de realización preferente el  
10 recubrimiento se emplea para recubrimiento de pilares.

No alteran la esencialidad de esta invención variaciones en materiales, forma, tamaño y disposición de los elementos componentes, descritos de manera no limitativa, bastando ésta para proceder a su reproducción  
15 por un experto.

**REIVINDICACIONES**

1<sup>a</sup>.- Recubrimiento para cantos de forjado  
5 caracterizado porque está formado por al menos una capa  
de polietileno (1) y una lámina de aluminio (2) unida a  
dicha capa de polietileno (1) por una de sus caras,  
donde a la otra cara de la capa de polietileno (1) se  
10 encuentra unida una malla de revoco (4) donde se  
disponen los materiales que conforman el tramo de  
fachada correspondiente al canto de forjado (3) de  
manera que el recubrimiento aísla térmica y  
acústicamente el canto del forjado.

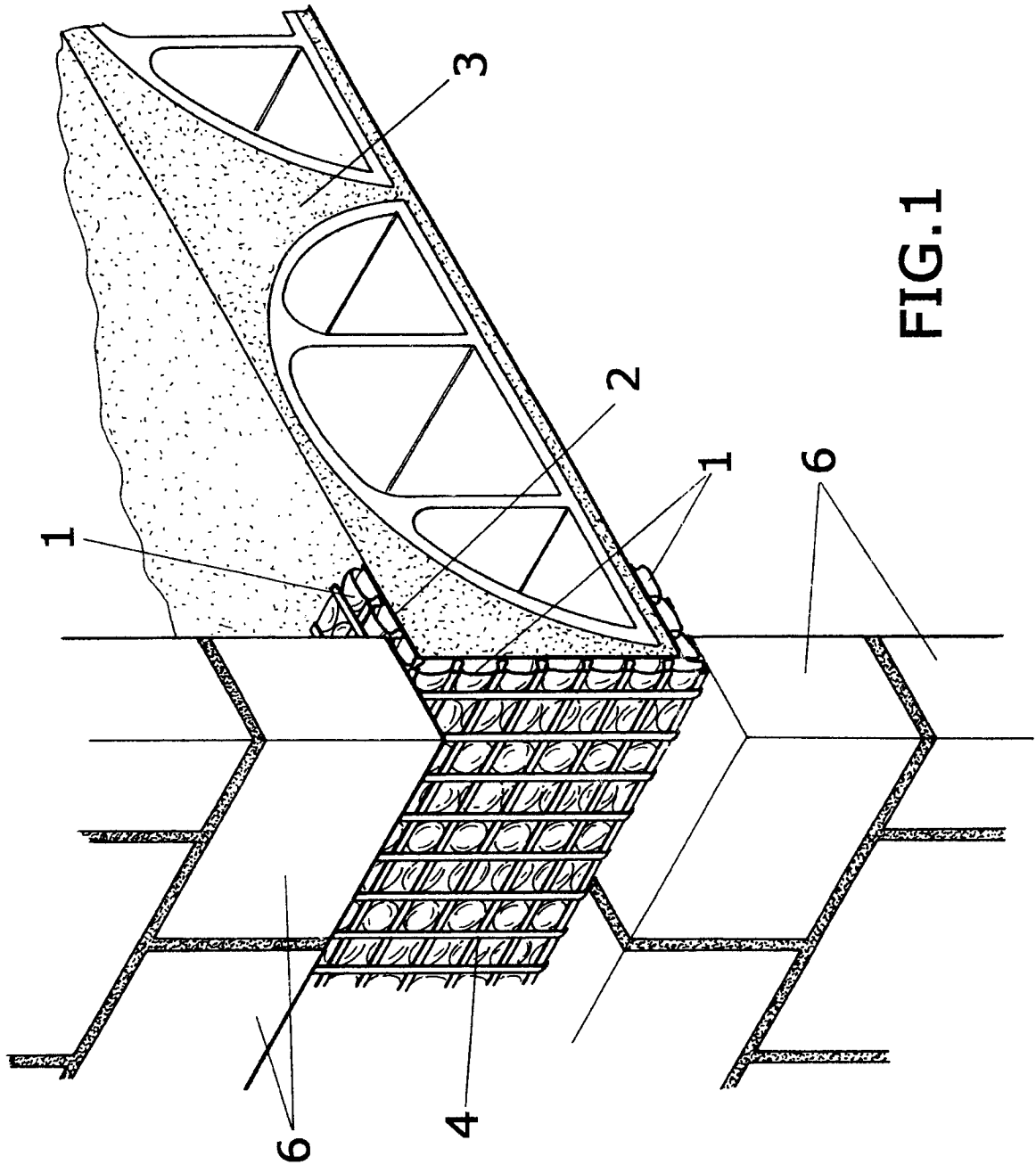
15 2<sup>a</sup>.- Recubrimiento para cantos de forjado según  
reivindicación 1 caracterizado porque está formado por  
dos capas de polietileno (1) entre las que se dispone  
una lámina de aluminio (2).

20 3<sup>a</sup>.- Recubrimiento para cantos de forjado según  
reivindicación 1 ó 2 caracterizado porque se fija al  
forjado (3) en la parte superior e inferior del mismo  
mediante unos medios de fijación (5).

25 4<sup>a</sup>.- Recubrimiento para cantos de forjado según  
cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracteri-  
zado porque las capas de polietileno (1) son de alta  
densidad FR.

30 5<sup>a</sup>.- Recubrimiento para cantos de forjado según  
reivindicación 4 caracterizado porque el espesor de las  
capas de polietileno (1) es de 4 mm.

35 6<sup>a</sup>.- Recubrimiento para cantos de forjado según  
cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracteri-  
zado porque la lámina (2) de aluminio es aluminio puro  
100%.





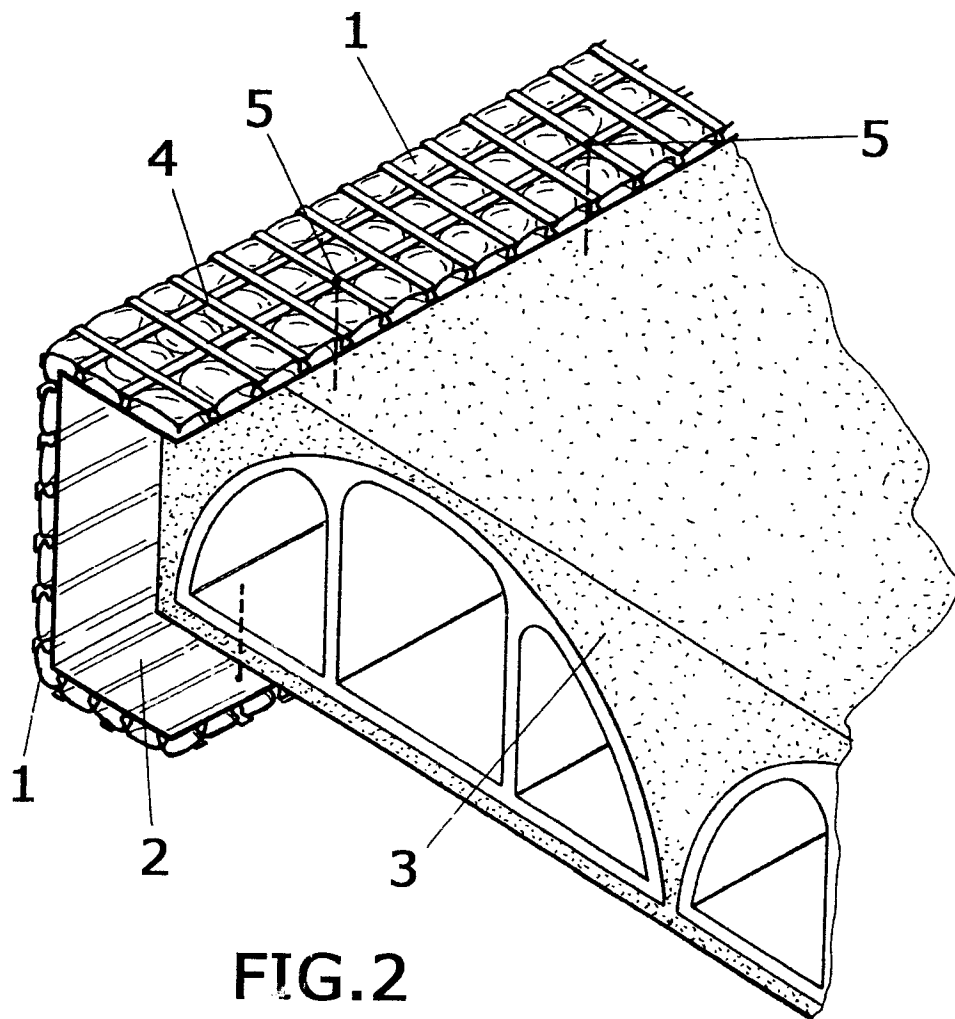


FIG. 2

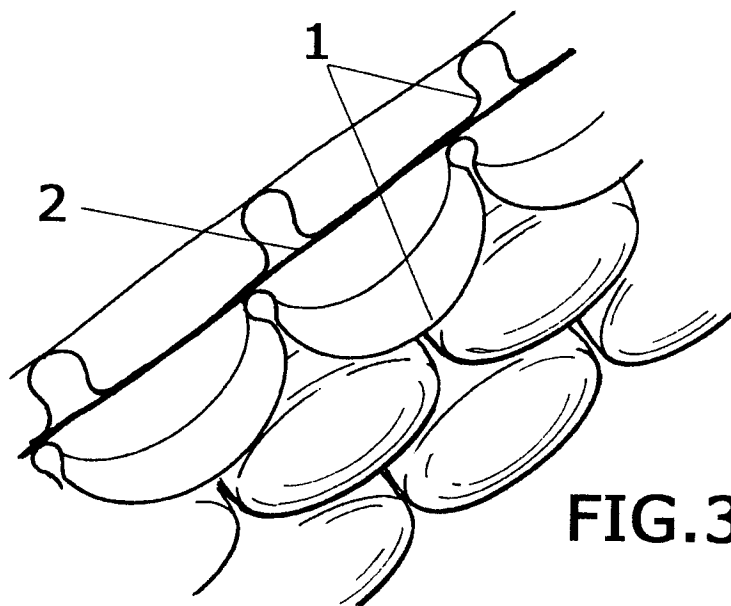


FIG. 3



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201001299

②② Fecha de presentación de la solicitud: 08.10.2010

③② Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **E04B1/74** (2006.01)  
**B32B15/08** (2006.01)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X Y	<a href="http://www.construnario.com/notiweb/26287/i/polynum-rpt-solventa-el-ete...20/07/2010">http://www.construnario.com/notiweb/26287/i/polynum-rpt-solventa-el-ete...20/07/2010</a>	1,5,6 2-4
X	<a href="http://www.hotfrog.es/Empresas/Optimer-System_2657812/Polynum-RPT-solventa-el-eterno-problema-del-aislamiento-térnico-en-cantos-de-forjados-y-pilares-67942">http://www.hotfrog.es/Empresas/Optimer-System_2657812/Polynum-RPT-solventa-el-eterno-problema-del-aislamiento-térnico-en-cantos-de-forjados-y-pilares-67942</a> 14/09/2010	1,5,6
X	<a href="http://www.optimersystem.com/noticias_optimer.php?id_noticia=21">http://www.optimersystem.com/noticias_optimer.php?id_noticia=21</a> , 09/2010	1,5,6
Y	GB 2350128 A (THERMAL ECONOMICS LTD) 22/11/2000, resumen; página 4, línea 24-página 5, línea16; figuras 1-2.	3
Y	GB 2326652 A (THERMAL ECONOMICS LIMITED) 30/12/1998, resumen; reivindicación 1-4; figuras 1 y 2.	3
Y	US 2002197450 A1 (OROLOGIO) 26/12/2002, reivindicaciones; figuras 2 y 4	2
A	FR 2839994 A1 (HUBY MARCEL FRANCOIS) 28/11/2003, resumen; página 1, líneas 1 - 40; reivindicaciones, figuras 1-3.	1

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
24.07.2012

Examinador  
M. Sánchez Robles

Página  
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

E04B, B32B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 24.07.2012

**Declaración****Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 2-4  
Reivindicaciones 1,5,6

SI  
NO

**Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)**

Reivindicaciones  
Reivindicaciones 1-6

SI  
NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	<a href="http://www.construnario.com/notiweb/26287/i/polynum-rpt-solventa-el-ete...">http://www.construnario.com/notiweb/26287/i/polynum-rpt-solventa-el-ete...</a> 20/07/2010	20.07.2010
D02	<a href="http://www.hotfrog.es/Empresas/Optimer-System_2657812/Polynum-RPT-solventa-el-eterno-problema-del-aislamiento-térnico-en-cantos-de-forjados-y-pilares-67942">http://www.hotfrog.es/Empresas/Optimer-System_2657812/Polynum-RPT-solventa-el-eterno-problema-del-aislamiento-térnico-en-cantos-de-forjados-y-pilares-67942</a> 14/09/2010	14.09.2010
D03	<a href="http://www.optimersystem.com/noticias_optimer.php?id_noticia=21">http://www.optimersystem.com/noticias_optimer.php?id_noticia=21</a> , 09/2010	09/2010
D04	GB 2350128 A (THERMAL ECONOMICS LTD )	22.11.2000
D05	GB 2326652 A (THERMAL ECONOMICS LIMITED )	30.12.1998
D06	US 2002197450 A1 (OROLOGIO)	26.12.2002
D07	FR 2839994 A1 (HUBY MARCEL FRANCOIS)	28.11.2003

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Los documentos D01, D02 y D03, divulgan, antes de la solicitud de patente, el objeto de las reivindicaciones 1, 5 y 6, por lo que éstas no son nuevas.

Los documentos D04 y D05 contienen recubrimientos aislantes de cantos de forjado compuestos de aluminio y polietileno con medios de fijación al mismo (ver en D04, resumen; página 5, líneas 8-16 ; figuras 1 y 2) (ver en D05, reivindicaciones 1 a 4 y figuras 1 y 2). A la vista de estos documentos el objeto de la reivindicación 3 de la solicitud sería obvio para el experto en la materia por lo que carecería de actividad inventiva.

El documento D06, muestra una lámina aislante para edificios (ver párrafo [0001], compuesta de aluminio y polietileno, en la que la lámina de aluminio se encuentra entre dos capas de polietileno (ver párrafo [0033]; reivindicaciones y figuras 1 y 2). El experto podría utilizar como opción de diseño esta característica por lo que la reivindicación 2 de la solicitud no tendría actividad inventiva.

En ninguno de los documentos anteriores se especifica que el polietileno sea de alta densidad, como en la reivindicación 4, pero se puede considerar que es una opción de diseño.

Por tanto, a la vista de los documentos anteriores, las reivindicaciones 1,5 y 6 de la solicitud ya estarían en el estado de la técnica por lo que carecerían de novedad (Art. 6.1 LP), y las reivindicaciones 2,3 y 4 serían obvias para el experto en la materia por lo que carecerían de actividad inventiva (Art. 8.1 LP).



DEUTSCHES  
PATENTAMT

②1 Aktenzeichen: P 35 42 651.9  
②2 Anmeldetag: 3. 12. 85  
④3 Offenlegungstag: 26. 6. 86

Behördeneigenthum

DE 3542651 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
21.12.84 CH 6117/84-7

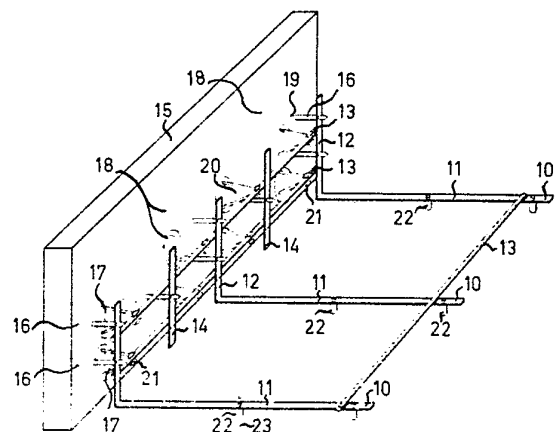
⑦1 Anmelder:  
EGCO AG, Saanen, CH

⑦4 Vertreter:  
Schickedanz, W., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 6050  
Offenbach

⑦2 Erfinder:  
Egger, Walter, Saanen, CH

⑤4 Abschalungselement

Das Schalungselement besteht aus mehreren rechtwinkligen Eisen (10), die mittels Querverstreben (13) untereinander verbunden sind. Fest mit der eben beschriebenen Grundkonstruktion ist eine Isolationsplatte (15) verbunden, die bei der Erstellung einer Bodendeckenplatte als bleibende Stirnschalung dient.



DE 3542651 A1

PATENTANSPRUECHE

1. Schalungselement vorzugsweise für Abschlüsse, Trennungen oder Verbindungen von zu betonierenden armierten Bodendeckenplatten (1) gegenüber bzw. mit anderen Bauteilen, beispielsweise mit einer Schale eines zweischaligen Mauerwerkes, (3,4) mit mindestens zwei etwa rechtwinkligen Eisen, (10) von denen je ein Schenkel (11) in die zu betonierenden Bodendeckenplatte (1) zu liegen kommt, dadurch gekennzeichnet, dass aus den rechtwinklig zur Ebene der Bodendeckenplatte (1) angeordneten Schenkel (12) mittel- oder unmittelbar, eine Platte (15,25) aus Wärmeisolationmaterial angebracht ist, die als Stirnschalung für die Bodendeckenplatte dient und deren Höhe mindestens der Dicke der zu betonierenden

Bodendeckenplatte (1) entspricht.

2. Schalungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die rechtwinklig zur Ebene der Bodendeckenplatte verlaufenden Schenkel (12) parallel zur Isolationsplatte (15) ausserhalb derselben verlaufen.
3. Schalungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die rechtwinklig zur Ebene der Bodendeckenplatte verlaufenden Schenkel (12) innerhalb der Isolationsplatte (25) verlaufen.
4. Schalungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der Isolationsplatte (15,25) der Dicke der Isolation (5) zwischen den Mauerschalen (3,4) entspricht.
5. Schalungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die in der Ebene der zu betonierenden Bodendeckenplatte (1) zu liegen kommenden Schenkel (11) mit Distanzierungselementen (22) versehen sind.



6. Schalungselement nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Distanzierungselemente (22) formschlüssig in den Schenkeln (11) gehaltene Buchsen sind, in denen Nagelstifte (23) klemmend gehalten werden.
7. Schalungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die in der Ebene der zu betonierenden Bodendeckenplatte (1) zu liegen kommenden Schenkel (11) an der Armierung (6) der Bodendeckenplatte (1) befestigbar sind.
8. Schalungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schenkel (11,12) der rechtwinkligen Eisen (10) untereinander mittels Querverstrebungen (13,23) verbunden sind.
9. Schalungselement nach den Ansprüchen 2 und 8, dadurch gekennzeichnet, dass an den senkrecht zur Ebene der zu betonierenden Bodendeckenplatte (1) verlaufenden Schenkel (12) formschlüssige Halteelemente (16) mit relativ grossen Auflageflächen (18) befestigt sind, die die Isolationsplatte durchsetzen, und dass an den

Querverstrebungen (13) aufsteckbare Halteelemente (17) befestigt sind, die mit Ihrer Auflagefläche (18) an der nächstgelegenen Aussenfläche der Isolationsplatte (15) anliegen.

10. Schalungselement nach den Ansprüchen 3 und 8, dadurch gekennzeichnet, dass in der geschäumten Isolationsplatte (25) mindestens eine balkenförmige Querverstrebung (23) angeordnet ist.

11. Schalungselement nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass an den senkrecht zur Ebene der zu betonierenden Bodendeckenplatte (1) verlaufenden Schenkeln (12) auf einer Seite, die der Isolationsplatte (15) rechtwinklig gegenüberliegt und an den die Schenkel (12) verbindenden Querverstrebungen (13) ein unten geschlossenes Vierkantrohr (24) aus Stahl in pralleler Richtung zu den Schenkeln (12) an den die Schenkel (12) angeschweisst ist, derart, dass über dieses Vierkantrohr (24) ein Kunststoff-Vierkantrohr (25) gestülpt ist, dessen oberes Ende mindestens bündig mit der Höhe der zu betonierenden Bodendeckenplatte

(1) ist und dass in diese beiden Vierkantrohre  
(24,25) ein Vierkantrohr (26) als Haltestange (26)  
für Bauabschränkungsplatten (27) gesteckt ist..

Schalungselement

Schalungselement vorzugsweise für Abschlüsse, Trennungen oder Verbindungen von zu betonierenden armierten Bodendeckenplatten gegenüber bzw. mit anderen Bauteilen, beispielsweise mit einer Schale eines zweischaligen Mauerwerkes.

Wird in einem Bauwerk ein zweischaliges Mauerwerk verwendet, so darf die Bodendeckenplatte lediglich auf einer Schale aufliegen, um dadurch eine Schall- und Wärmebrücke von einer Mauerschale zur anderen zu vermeiden. Die zwischen den Schalen verbleibende Distanz wird mit Isolationsmaterial gefüllt.

Bei korrekt durchgeführter Arbeit wird die Verschalung zwischen der inneren und äusseren Mauerschale bündig mit der Kante der Schale, auf dem die Bodendeckenplatte aufliegt, angebracht und nach genügender Aushärtung des Betons entfernt. Dies ist jedoch vor allem aus Platzgründen nicht einfach und auch zeitaufwendig.

Teilweise wurde das Problem bei Aussenwänden so gelöst, dass man die äussere Schale etwa über das Niveau der einzubetonierenden Bodendeckenplatte hinaus hochgezogen hat und zur Abstützung der Schalungsbretter verwendete. Bedenkt man jedoch, dass der spezifische Druck auf einem Verschalungsbrett bei einer Bodendeckenplatte oft bis  $6\text{N/cm}^2$  sein kann, und dass das Mauerwerk der äusseren Schale bei den heute üblichen Bauzeiten, oft zu wenig ausgehärtet ist, so kann man sich die dadurch verursachten Schäden leicht vorstellen.

Die Probleme wurden erkannt. In der CH-PS 625'589 ist ein Winkleisen beschrieben, mit einem Schenkel, der in die zu betonierenden Bodendeckenplatte zu liegen kommt, während der zweite Schenkel zur lösbaren Halterung eines Schalungsbrettes mittels Befestigungselemente dient,

welches Schalungsbrett nach Aushärtung des Betons wieder entfernt werden muss. Für den Anschluss an zweischalige Mauerwerke ist die vorgeschlagene Lösung jedoch ungeeignet.

Die vorliegende Erfindung stellt sich zur Aufgabe ein Schalungselement der eingangs genannten Art zu schaffen, dass, für Abschlüsse, Trennungen oder Verbindungen von zu betonierenden, armierten Bodendeckenplatten gegenüber bzw. mit anderen Bauteilen geeignet ist und eine preiswerte Lösung darstellt.

Diese Aufgabe löst ein Schalungselement gemäss Oberbegriff mit den Merkmalen des kennzeichnenden Teiles des Patentanspruches.

Weitere vorteilhaft ausgestaltete Ausgestaltungsformen gehen aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den anliegenden Zeichnungen hervor.

In der Zeichnung sind zwei Ausführungsbeispiele dargestellt und anhand der nachfolgenden Beschreibung erläutert. Es zeigt:

Figur 1 einen schematischen Schnitt durch einen Anschluss eines zweischaligen Mauerwerkes an einer Bodendeckenplatte, unter Verwendung eines erfindungsgemässen Elementes.

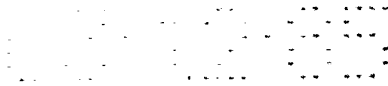
Figur 2 eine perspektivische Darstellung eines Schalungselementes, bei der senkrecht zur Ebene der Bodendeckenplatte verlaufenden Schenkel ausserhalb der Isolationsplatte liegen und

Figur 3 eine Variante mit in der Isolationsplatte verlaufenden Schenkeln.

Figur 4 stellt ein Distanzierungselement zur formschlüssigen Verbindung mit einem in der Ebene der Bodendeckenplatte verlaufenden Schenkel dar.

Figur 5 stellt das Schalungselement gemäss Figur 2 mit der Haltestange für die Bauabschränkungsplatten dar.

In der Figur 1 ist der Anschluss einer Bodendeckenplatte 1 an ein zweischaliges Mauerwerk 2 dargestellt. Zwischen der äusseren Schale 3 und der inneren Schale 4 ist eine Isolationsschicht 5 angeordnet. Obwohl das erfindungsgemässe Element vorzugsweise für den Anschluss einer Bodendeckenplatte an ein zweischaliges Mauerwerk



3542651

10

gedacht ist, soll die Anwendung nicht hierauf beschränkt sein. So kann es beispielsweise auch im Auflagebereich der Bodendeckenplatte auf einer Stützmauer dienen. In diesen Fall wirkt die Isolationsplatte des Schalungselementes als Distanzelement zur Bildung einer Dehnfuge. In einem solchen Fall kann auch beidseitig der Isolationsplatte, aus beispielsweise schallisolierendem Material, zeitgleich betoniert werden.

Während des Einbaus kann das Schalungselement entweder direkt an der Bodendeckenschalung oder an der Armierung 6 der Bodendeckenplatte 11 befestigt werden. Hierauf wird nachfolgende noch eingehender eingegangen.

Als rechtwinklige Eisen 10 kommen neben den dargestellten abgewinkelten Flacheisen auch andere handelsübliche Eisen, die entsprechend geformt oder zusammengeschweisst sein können, in Frage. Die rechtwinkligen Eisen 10 weisen je einen langen Schenkel 11 und einen kurzen Schenkel 12 auf. Die längeren Schenkel 11 kommen im eingebauten Zustand in die Bodendeckenplatte 1 zu liegen.



Die Eisen 10 sind mit Querverstrebungen 13 untereinander verbunden. Deren Anzahl, Anbringungsort und Verlauf sind frei wählbar. Die Anordnung der Querverbindungen 13 wie in Figur 2 dargestellt ist jedoch besonders vorteilhaft. Eine Querverstrebung verbindet die längeren Schenkel 11 untereinander und vermindert die Gefahr des Verbiegens eines Schenkels während des Transportes oder bei der Verlegung auf dem Bau. Die kürzeren Schenkel 12 sind mit zwei Querverstrebungen untereinander verbunden. An diesen Querverstrebungen sind Hilfsstreben 14 angeschweisst, die parallel zu den kurzen Schenkeln 12 verlaufen.

Eine parallel zu den kurzen Schenkeln 12 der Eisen 10 verlaufende Isolationsplatte 15 wird mittels einer Vielzahl von Halteelemente 16,17 in einem festen Abstand zu den Schenkeln 12 gehalten. Die Halteelemente 16,17 dienen dazu entweder Zug- oder Druckkräfte auf die Isolationsplatte 15 auf die Metallkonstruktion, dass heisst direkt oder indirekt auf die rechtwinkligen Eisen 10 zu übertragen. Die Halteelemente 16 haben eine, auf der den kurzen Schenkeln 12 abgelegenen Seite der Isolationsplatte anliegende, relativ grosse Auflagefläche 18. Senkrecht zur Auflagefläche 18 verläuft ein damit

einstückig verbundener Stift 19. Der Stift 19 durchstösst die Isolationsplatte 15 und hält sich formschlüssig in einer Bohrung des kürzeren Schenkels 12 des Eisens 10 oder in einer Durchgangsbohrung eines Hilfssteges 14.

Die Halteelemente 17 liegen mit ihrer Auflagefläche 18 auf der den kurzen Schenkel 12 zugekehrten Seite, der Isolationsplatte 15 auf. Senkrecht auf der Auflagefläche 18 steht ein gleichschenkliges Dreieck 20, welches mit der Auflagefläche 18 einstückig verbunden ist, und an seiner Spitze eine Klammer 21 trägt. Die Halteelemente 17 sind mit der Klammer 21 an den Querverstrebungen 13 gehalten. Die beidseitig der Isolationsplatte anliegenden Halteelemente 16,17 ermöglichen, falls das Schalungselement zu einem anderen Zweck, als für die Erstellung eines Anschlusses einer Bodendeckenplatte 1 an ein zweischaliges Mauerwerk 3,4 verwendet wird, die die Kräfte auf die Isolationsplatte 15 aufzunehmen.

Das Schalungselement lässt sich auf verschiedene Arten in seiner Lage fixieren. Die nächstliegende Möglichkeit ist die direkte Verbindung der rechtwinkligen Eisen 10 oder der Querverstrebungen 13 mit der Armierung 6 der

Bodendeckenplatte 1. Zu diesem Zweck kann es wünschenswert sein, wenn die rechtwinkligen Eisen zu einem T-förmigen Element zusammengeschweisst sind, wie dies schematisch in der Figur 1 dargestellt ist.

Vorzugsweise werden jedoch die rechtwinkligen Eisen 10 an der Verschalung der zu betonierenden Bodendeckenplatte 1 befestigt. Hierzu sind in den längeren Schenkel 11 der rechtwinkligen Eisen 10 Bohrungen vorgesehen, in die Distanzierungselemente 22 (Figur 4) formschlüssig eingepresst sind. Die zur Befestigung mit der Schalung erforderlichen Nägel oder Nagelstifte 23 sind klemmend in den Distanzierungselementen 22 gehalten. Die Verwendung von Nagelstiften, die in den Distanzierungselementen klemmend gehalten sind hat verschiedene Vorteile.

Vorerst gibt man auf diese Weise dem Verarbeiter ein fertiges Produkt in die Hand, welches ohne zusätzliche Hilfsmittel verwendbar ist. Wesentlicher aber ist, dass die Verwendung von klemmend gehaltenen Nagelstifte den Vorteil hat, dass diese beim Ausschalen entweder mit der Schalung zusammen entfernt werden oder aber leicht mittels einer Zange herausziehbar sind.

Während das Ausführungsbeispiel nach Figur 2 vorzugsweise für die Verwendung von Mineralfaserplatten als Isolationsplatten gedacht ist, zeigt Figur 3 ein Beispiel für die Verwendung von geschäumten Kunststoff-Isolationsplatten. Die rechtwinkligen Eisen sind wiederum mit 10, die Querverstrebung der lange Schenkel 11, mit 13 bezeichnet. Die kurzen Schenkel 12 sind mit einem relativ grossen Flacheisen 23 miteinander verbunden, welches die Funktion einer Querverstrebung hat, gleichzeitig jedoch auch die Festigkeit der Kunststoffisolationsplatte 25 erhöht. Die Isolationsplatte 25 umhüllt im dargestellten Beispiel die Schenkel 12 und das Flacheisen 23. Am einfachsten kann man die Isolationsplatte 25 direkt auf das fertig geschweisste Element aufschäumen.

Natürlich kann die balkenförmige Querverstrebung 23 auch durch eine oder mehrere stabförmige Verstrebungen ersetzt werden. Auch kann die balkenförmige Querverstrebung 23 aus Kunststoff sein. Es ist auch möglich die Querverstrebung alleine in die Isolationsplatte 25 ein zu bringen und erst nachträglich auf die kurzen Schenkel der Eisen 10 aufzustecken.

Die Wahl der Materialien spielt bei der Erfindung keine wesentliche Rolle, alle im Bauwesen üblichen Materialien kommen in Frage, solange man die erforderlichen Festigkeitswerte und Qualitätsvorschriften beachtet.

Die Dimensionierung der Isolationsplatte 15,25 erfolgt auf Grund verschiedener Kriterien. Die Höhe der Isolationsplatte sollte mindestens der Dicke der zu erstellenden Bodendeckenplatte 1 entsprechen. Die Dicke der Isolationsplatte wird bevorzugt der Dicke der Isolation zwischen den beiden Schalen 3,4 des zweischaligen Mauerwerkes 2 angepasst.

Um die Sicherheit für Personen, die sich in der Nähe des Randes der Bodendeckenplatte (1) vor oder nach deren Betonierung aufhalten, dient eine spezielle Halterung, die es gestattet, eine Brüstung entlang den Isolationsplatten aufzustecken, so dass die Gefahr eines Sturzes vom bereits erstellten Teil des Gebäudes eliminiert wird. Diese Halterung umfasst ein Stahlvierkantrohr (24) das an den parallel zur Isolationsplatte (15) verlaufenden Schenkeln (12) auf einer senkrecht zur Isolationsplatte (15) stehenden Seite

das besagte Vierkantrohr ebenfalls an den Querverstrebungen (13) angeschweisst sein. Vorteilhaft wird das untere Ende mit einem Kunststoffuss (28) abgeschlossen, der das Gewicht der Brüstung auf die Schalungstafel abstützt.

Nach dem Betonieren kann dieser Kunststoffuss wieder entfernt werden. Das untere Ende des Vierkantrohres (24) kann auch leicht von der unteren Fläche der Bodendeckenplatte (1) distanziert und beliebig geschlossen sein. Auf das obere Ende des Vierkantrohres (24) wird ein Kunststoff-Vierkantrohr (25) gesteckt, das mindestens so lang ist, dass es bündig mit dem oberen Niveau der zu betonierenden Bodendeckenplatte (1) ist oder diese ein wenig überragt. Dieses Kunststoff-Vierkantrohr gestattet ein leichtgängiges Hineinstecken und Herausziehen einer Haltestange, die aus einem Stahl-Vierkantrohr bestehen kann und als Trägerin von Bauabschränkungsplatten (27) dient. Wird die Brüstung nach erfolgtem Betonieren wieder demontiert, so kann der die betonierte Bodendeckenplatte (1) allfällig überragende Teil des Kunststoff-Vierkantrohres (25) leicht abgeschnitten werden.

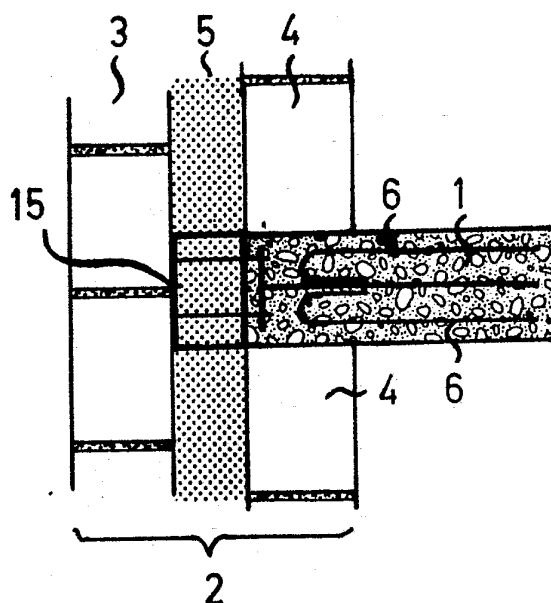


FIG. 1

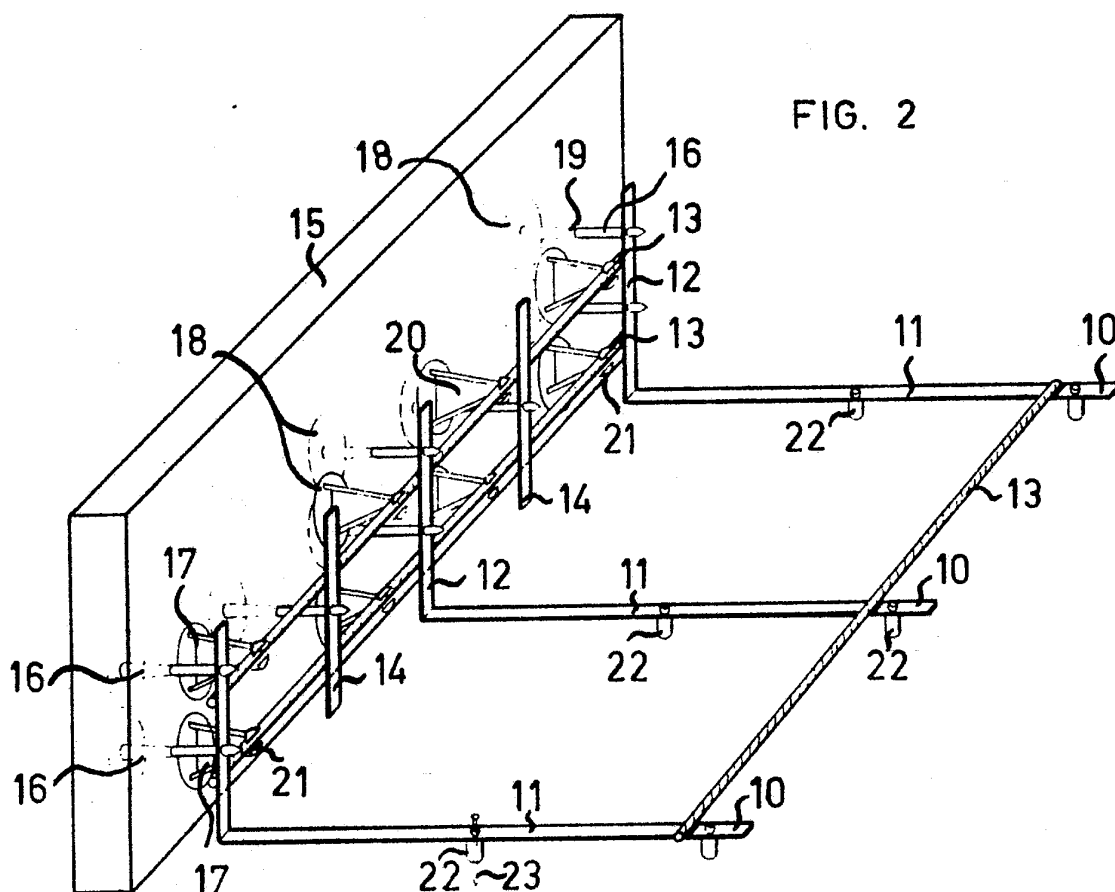


FIG. 2

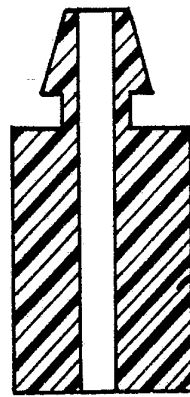


FIG. 4

22

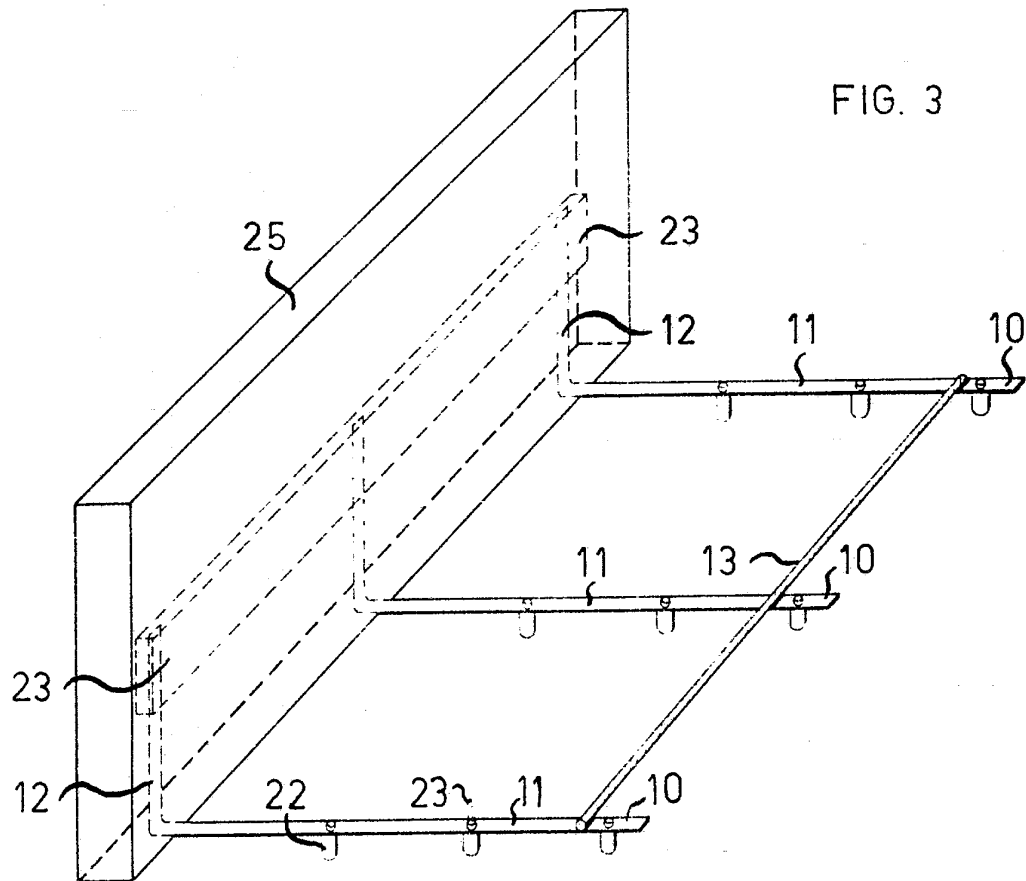


FIG. 3



