

ESTUDIO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE CERRAMIENTO ALTERNATIVOS PARA UN MODELO DE VIVIENDA DE GASTO ENERGÉTICO CASI NULO

Trabajo fin de Grado. Curso 2016-2017

Alumno: José Manuel Caridad Casado

Tutor: Rafael García Quesada



ÍNDICE

Normativa europea 2010/31/UE y española RD 235/2013.....	2	Balance energético del modelo en los casos de estudio	48
El estándar PassivHaus	3	Información general del modelo en PHPP	49
Objetivo, procedimiento de trabajo y presentación de los casos de estudio	4	Caso 1	
El modelo de estudio	5	Superficies y transmitancias	50
Cerramientos de fachada	6	Resultados y conclusiones	51
Organización del estudio de detalles constructivos	7	Caso 2: Sistema Elesdopa	
Caso 1		Superficies y transmitancias / Conectores	52
Detalles constructivos	8	Superficies y transmitancias / Ptes térmicos.....	53
Termografía	10	Resultados y conclusiones	54
Caso 2: Sistema Elesdopa	14	Caso 3: SATE	
Detalles constructivos	15	Superficies y transmitancias	55
Termografía	19	Resultados y conclusiones	56
Caso 3: SATE	27	Caso 4: Trasdosado interior	
Detalles constructivos	28	Superficies y transmitancias	57
Termografía	30	Resultados y conclusiones	58
Caso 4: Trasdosado interior	34	Caso 5: PCM (material de cambio de fase)	
Detalles constructivos	35	Superficies y transmitancias	59
Termografía	37	Resultados y conclusiones	60
Caso 5: PCM (material de cambio de fase)	41	Conclusiones	61
Detalles constructivos	42	Bibliografía y programas informáticos	62
Termografía	44		

NORMATIVA EUROPEA 2010/31/UE Y ESPAÑOLA RD 235/2013

LA EDIFICACIÓN Y EL PROBLEMA MEDIOAMBIENTAL

La contaminación medioambiental es uno de los principales problemas de nuestra sociedad. El abuso de los recursos naturales y de las energías no renovables, así como una desmedida demanda de energía en continuo crecimiento comienza a pasar factura al planeta, y un futuro al ritmo de consumo actual es inviable. Además, la emisión de los gases producidos por la combustión de los combustibles fósiles ha generado en apenas unas décadas un aumento de la temperatura global y desequilibrios climáticos que exigen una reacción inmediata.

La edificación tiene su parte de responsabilidad en la crisis energética y climática: según el informe de 2015 de la Agencia Internacional de la Energía (IEA), se estima que alrededor del 40% de la energía consumida en 2015 se ha destinado al gasto de calefacción y refrigeración en edificios.

NORMATIVA EUROPEA 2010/31/UE

La Unión Europea, procurando adaptarse a las resoluciones alcanzadas en el Protocolo de Kyoto, decidió modificar la Directiva existente 2002/91/CE, relativa a la eficiencia energética de los edificios, en la nueva Directiva 2010/31/UE, del 19 de mayo de 2010. Establece que *“a más tardar el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo, y de que después del 31 de diciembre de 2018, los edificios nuevos que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas sean edificios de consumo de energía casi nulo.”* Además, la Directiva establece requisitos en relación a:

a) el marco común general de una metodología de cálculo de la eficiencia energética integrada de los edificios o de unidades del edificio.

b) la aplicación de requisitos mínimos a la eficiencia energética de los edificios nuevos o de nuevas unidades del edificio.

c) la aplicación de requisitos mínimos a la eficiencia energética de edificios e instalaciones técnicas.

d) los planes nacionales destinados a aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo.

e) la certificación energética de los edificios o de unidades del edificio.

f) la inspección periódica de las instalaciones de calefacción y aire acondicionado de edificios.

g) los sistemas de control independiente de los certificados de eficiencia energética y de los informes de inspección.

EN ESPAÑA: REAL DECRETO 235/2013

El Gobierno español, haciéndose eco de lo estipulado en el Parlamento europeo, realizó una trasposición parcial de la Directiva europea en lo relativo al procedimiento de la certificación energética, y todo lo relacionado con ello, en el Real Decreto 235/2013, del 5 de abril. Se define la obligatoriedad de certificación energética, tanto en obra nueva como en venta o alquiler de un edificio. Sin embargo, no refleja en el documento el resto de requisitos que la Directiva europea recoge, dejando en blanco la principal incógnita ¿qué se considera *gasto casi nulo*?

El Real Decreto nos indica el Código Técnico de la Edificación, aprobado en 2006, con el añadido del documento HE-0 en el año 2014, en lo referente al ahorro energético.

Documento Básico HE

Ahorro de energía

HE 0 Limitación del consumo energético
HE 1 Limitación de la demanda energética
HE 2 Rendimiento de las instalaciones térmicas
HE 3 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación
HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria
HE 5 Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

Septiembre 2013

EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS

CRITERIOS PARA LA EDIFICACIÓN PASIVA

Una de las referencias más exitosas de criterio para conseguir una edificación de mínimo consumo energético es el estándar Passivhaus. Se trata un concepto de construcción de edificios energéticamente eficientes, que consigue un nivel de confort térmico interior y un ahorro considerable de recursos.

Los criterios de diseño de una Passivhaus se podrían concretar en estos aspectos:

1. Excelente aislamiento térmico.

Es bueno tanto en invierno como en verano para evitar cualquier pérdida o ganancia de calor innecesaria. El espesor de aislamiento debe ser importante para que los cerramientos obtengan transmitancias térmicas muy bajas, o que estos tengan una conductividad muy baja.

2. Ventanas y puertas de altas prestaciones.

Son unos habituales puentes térmicos, y por ello es necesario una carpintería de muy baja transmitancia térmica, así como paños de vidrio bajo emisivos de doble o triple hoja. La transmitancia térmica de los vidrios debe estar por debajo de $0,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

3. Ausencia de puentes térmicos.

Los puntos más críticos suelen ser los huecos, esquinas y encuentros constructivos. Conviene dar continuidad a la capa de aislamiento térmico y emplear materiales de buena resistencia térmica. Por ello hay que tener en cuenta un buen diseño y la correcta elección del sistema constructivo de la envolvente de la edificación.

4. Ventilación mecánica con recuperación de calor.

Tiene gran importancia para reducir drásticamente el gasto en calefacción. El calor generado por las instalaciones térmicas y del aire viciado puede emplearse el aire limpio entrante del exterior. Debe tener una eficiencia al menos del 75%.

5. Estanqueidad al aire.

La hermeticidad de la envolvente se debe comprobar mediante un ensayo de presión, y las infiltraciones no tienen que excederse de 0,6 renovaciones a la hora con una presión de 50 Pa. Se obtiene una eficiencia energética elevada mediante ventilación mecánica con recuperador de calor.

Con estos criterios se consigue reducir en un 75% las necesidades de calefacción y refrigeración del edificio, fácilmente suplementados con energías renovables, y consiguiendo una baja huella de carbono y un bajo coste económico. Además de estos aspectos, es importante elegir una buena orientación solar, una relación entre la superficie envolvente exterior y el volumen interior ajustada y protección frente a la radiación solar.

Para que un edificio se le considere Passivhaus, debe cumplir estos requisitos:

Demanda de calefacción: $< 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Demanda de refrigeración: $< 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Demanda de energía primaria: $< 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (para calefacción, agua caliente y electricidad)

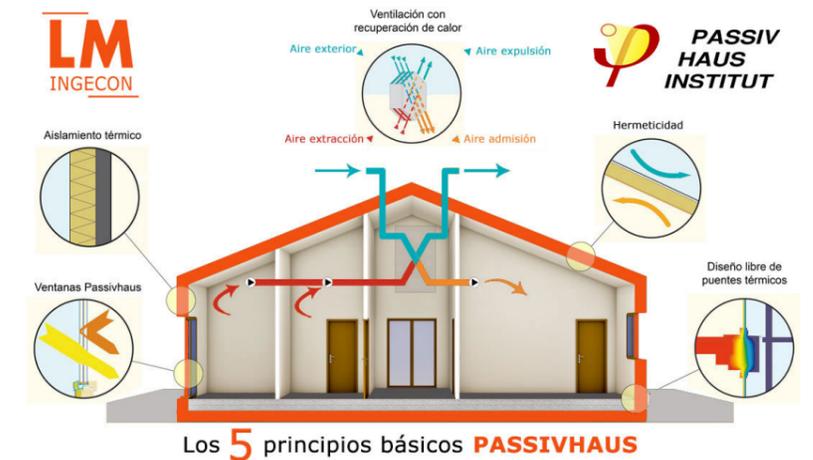
Estanqueidad: $< 0,6$ renovaciones de aire por hora (valor de estanqueidad 50 Pa)

En España existe la Plataforma Edificación Passivhaus (PEP), que promueve los edificios pasivos, adaptándose al Código Técnico de la Edificación. Mediante el software desarrollado por ellos (PHPP, una serie de hojas Excel), se calculan las necesidades energéticas de la edificación, además de las pérdidas de calor tanto a través del cerramiento como por puentes térmicos.

Con esta información emite el dato por el que se califica la vivienda como passivhaus o no.



Fuente: elmundo.es



Fuente: [PassivHaus Institut](http://PassivHausInstitut.com)

OBJETIVO, PROCEDIMIENTO DE TRABAJO Y PRESENTACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo de la investigación es hacer una comparación entre distintos sistemas constructivos, en principio con cierta garantía de eficiencia energética, con el fin de contrastar sus cualidades para conseguir una vivienda de gasto casi nulo.

En primer lugar se presenta el sistema constructivo, con información de casas comerciales, de cada una de ellas. Posteriormente se representa gráficamente los encuentros constructivos más relevantes del modelo de edificación de estudio, definido a continuación, el mismo para todos con el fin de contrastarlos entre sí. De cada uno de estos detalles constructivos se obtiene mediante el programa Therm una termografía de la temperatura dentro de la sección y una termografía con la intensidad de flujo de calor, con la intención de conocer los posibles puentes térmicos.

Una vez observado los elementos constructivos, se cuantifican las pérdidas totales del edificio mediante el software PHPP, tablas excel desarrolladas por la Plataforma Passivhaus de obtención de calificación energética, para determinar el alcance de cada sistema constructivo de forma numérica. Por último se elaboran las conclusiones obtenidas por el proceso de investigación y una breve valoración personal.

MODELO DE ESTUDIO

El objeto de estudio es una edificación de estudio teórica, de 4 fachadas orientadas a cada orientación pura, y que se compone de cimentación de zapatas aisladas con forjado antihumedad, forjado intermedio y cubierta plana. Sobre este edificio-modelo se implementan el cerramiento de cada tipo y se hace el estudio.

El modelo es de planta cuadrada, sencillo, con un hueco de ventana orientado a sur, con la intención de analizar el encuentro constructivo y los posibles puentes térmicos. En la siguiente página se detallan las características, dimensiones, etc.

SISTEMAS INFORMÁTICOS

Para la elaboración del trabajo, se empleará el programa *AutoCAD 2016* para dibujar de las secciones constructivas y los elementos de diseño gráfico. Para el cálculo de la transmitancia térmica se hará uso del software *PHPP 8.5.*, que se complementará con secciones termográficas en las distintas capas con el software *Therm 7.4*. En las tablas de Excel del PHPP se introducirá la información de cada cerramiento para obtener las pérdidas energéticas y la demanda de calefacción.

PROCESO DE TRABAJO

El procedimiento de trabajo será el siguiente:

1. Definir el edificio-modelo de estudio, dimensiones, características, huecos, etc. Se sitúa en Granada.
2. Explicación del sistema constructivo. Materiales y características. Explicación de su ejecución en obra y esquema de puesta en obra.
3. Dibujo de los encuentros constructivos más relevantes, y obtención de mapas de temperatura y flujo de calor en los mismos.
4. Cálculo de las superficies de cerramiento en el modelo, y transmitancia térmica de cada capa y en el conjunto. Establecer los valores estándar de ventilación, transmitancia del terreno, ocupación media y clima.
5. Definir los puentes térmicos que afectan a cada cerramiento, la superficie que ocupa y la transmitancia térmica de cada uno.
6. Recoger los resultados de pérdidas energéticas, así como de la demanda de energía que se necesita en el edificio-modelo para mantener la temperatura de confort.
7. Comparar los resultados y obtener conclusiones numéricas y prácticas.

CASOS DE ESTUDIO

Se ha seleccionado como sistema constructivo de referencia una envolvente compuesta por una cubierta invertida, una fachada capuchina y un forjado sanitario en contacto con el terreno. Posteriormente, se han escogido otros cuatro sistemas de cerramiento de fachada, con el mismo tipo de cubierta y de forjado sanitario. Así, resulta más sencillo obtener conclusiones prácticas acerca de las pérdidas de calor en cada envolvente.

Los cuatro casos alternativos se han escogido por dos motivos: o bien porque es novedoso y con pocos estudios de investigación, o bien porque aportan una mejora sustancial y una alternativa para un edificio de gasto casi nulo.

Los sistemas constructivos elegidos para los elementos del cerramiento son:

Caso 1: Fachada capuchina tradicional.

Caso 2: Sistema Elesdopa

Caso 3: Sistema de Aislamiento térmico exterior (SATE)

Caso 4: Sistema de cerramiento con trasdosado interior

Caso 5: PCM
(Phase Change Materials, materiales de cambio de fase)

EL MODELO DE ESTUDIO

UN EDIFICIO TEÓRICO PARA RESULTADOS PRÁCTICOS.

Al tratarse de un trabajo de investigación teórico de sistemas de cerramientos constructivos, se propone un modelo de edificación adaptada para los detalles constructivos que vamos a estudiar. Es una estructura simple, de hormigón armado convencional, con forjados de 30 cm de espesor y pilares de 30x30 cm cada 6 metros a eje. Tiene un forjado en contacto con el terreno, uno intermedio y una cubierta.

Esto se ha decidido así para poder estudiar cada encuentro de cerramiento posible: en el caso de encuentro constructivo con pilares en esquina como en central, y en el caso de los forjados en el encuentro con el terreno, en un forjado intermedio y en el detalle de cubierta.

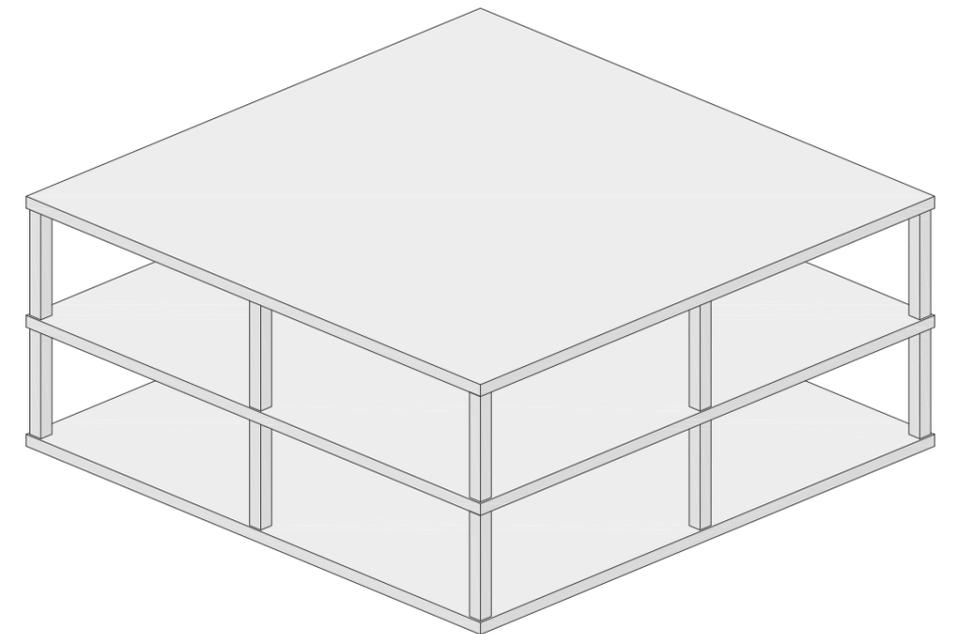
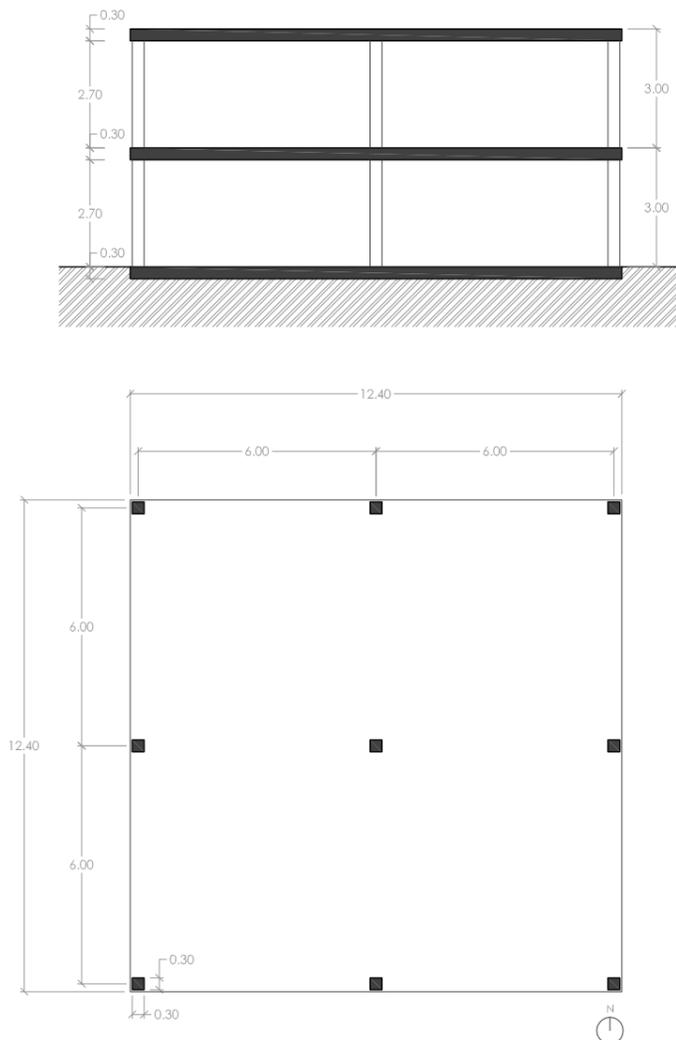
El modelo se orienta con cada fachada hacia los cuatro puntos cardinales puros, y se abre una ventana de 1,20x1,50m en la fachada sur para estudiar también tanto la ejecución en obra de la carpintería como los puentes térmicos en alféizar, jambas y dintel. La ventana será la misma para todos los casos, con una calidad

Se toma en cuenta el terreno como llano, de tierra compacta con una conductividad de $2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, y el edificio tendrá una cámara de aire de 40 cm, compuesta de piezas Caviti, como se dibuja en los detalles constructivos.

El objetivo es aplicar cada uno de los sistemas constructivos de fachada y cubierta en el modelo, y de él sacar los detalles de ejecución en una obra con estructura de hormigón armado. Siendo el mismo modelo de aplicación para todos los casos, se pueden llegar a conclusiones fácilmente comparables entre sí.

Por tanto:

- Superficie de fachada total: 286,2 m².
- Superficie de cubierta: 144 m².
- Superficie de forjado sanitario: 144 m².
- Superficie útil: 11,7m x 11,7m x 2 plantas=273,8 m²
- Superficie de ventana: 1,5m x 1,2m= 1,8 m².



CERRAMIENTOS DE FACHADAS

Fachada capuchina tradicional

Sistema ELESOPA®

Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE)

Aislamiento en trasdosado interior

PCM (Material de cambio de fase)

ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO DE LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS

SISTEMA DE ESTUDIO

Para comparar los sistemas constructivos entre sí, tanto en la construcción como en las trasmittancias térmicas, se hacen distintas combinaciones de cubierta - fachada - cimentación. El criterio para elegir esta combinación es obtener la comparación de casos en condiciones idénticas. La primera es la 'estandar' o más extendida, y las siguientes son las alternativas que vamos a estudiar y comparar entre sí. Cada uno de estos tiene unas características propias y que en teoría mejoran el aislamiento del edificio. A continuación se especifica el motivo de su elección.

Nº	CUBIERTA	FACHADA	CONTACTO CON TERRENO
1.	Cubierta invertida	Capuchina tradicional	Forjado antihumedad
2.	Elesdopa	Elesdopa	Elesdopa
3.	Cubierta invertida	SATE	Forjado antihumedad
4.	Cubierta invertida + Trasdosado interior	Caravista con trasdosado interior	Forjado antihumedad
5.	Cubierta invertida + PCM	Capuchina + PCM	Forjado antihumedad

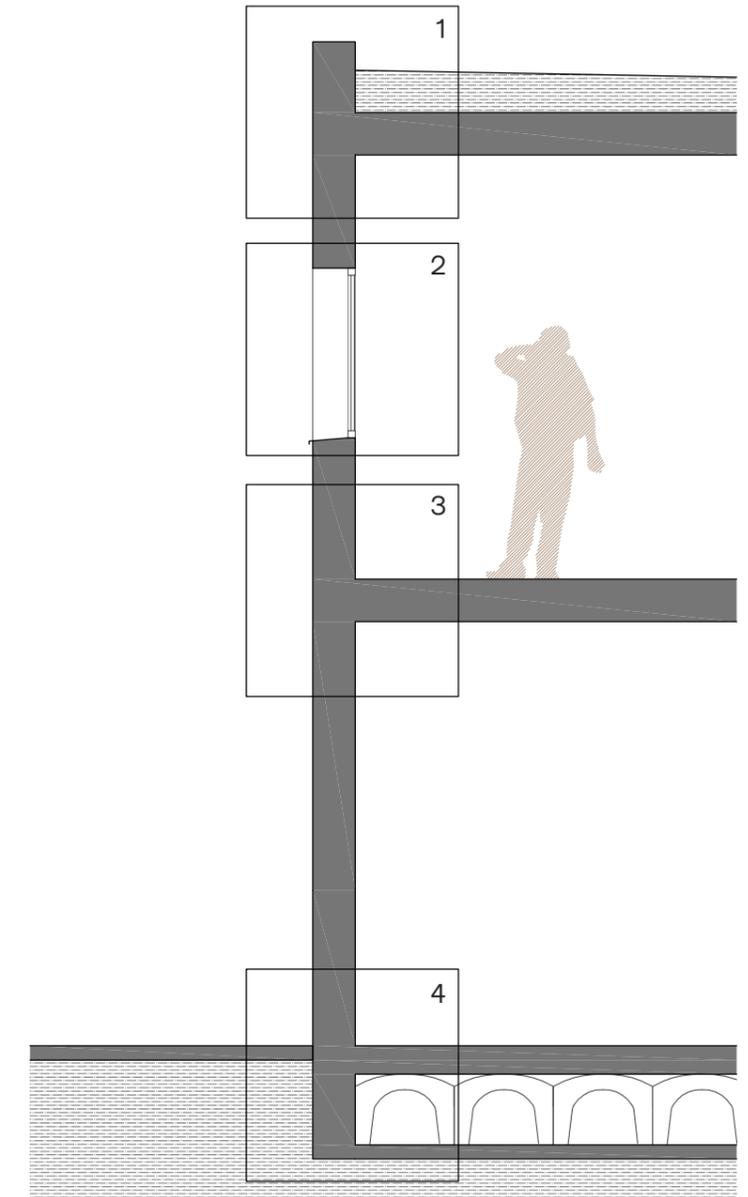
En teoría, el caso número 1 es el más desfavorable en cuanto al aislamiento térmico, principalmente por los puentes térmicos que conllevan los encuentros con la estructura. Partiendo de esta base, la más extendida de los últimos años en la construcción española, podremos comprobar hasta qué punto mejoran las prestaciones energéticas en la edificación.

Los sistemas de cerramiento elegidos son: Elesdopa®, sistema de aislamiento térmico por el exterior(SATE), cerramiento con trasdosado interior, y con PCM (material de cambio de fase). El cerramiento en contacto con el terreno permanecerá igual en todos los casos. Al ser un edificio de planta baja sin sótano se opta por un forjado antihumedad, con una cámara de aire de 40cm compuesta de piezas de Caviti®, excepto en el sistema Elesdopa, que tiene una solución propia.

DETALLES CONSTRUCTIVOS

Los detalles constructivos de estudio son cuatro: el encuentro entre el cerramiento vertical y la cubierta, el encuentro del cerramiento vertical con el forjado intermedio, el encuentro entre el cerramiento vertical y el forjado antihumedad, y el hueco abierto en el cerramiento vertical y la carpintería. Es la sección de la fachada Sur, puesto que es la orientación de la ventana del edificio modelo.

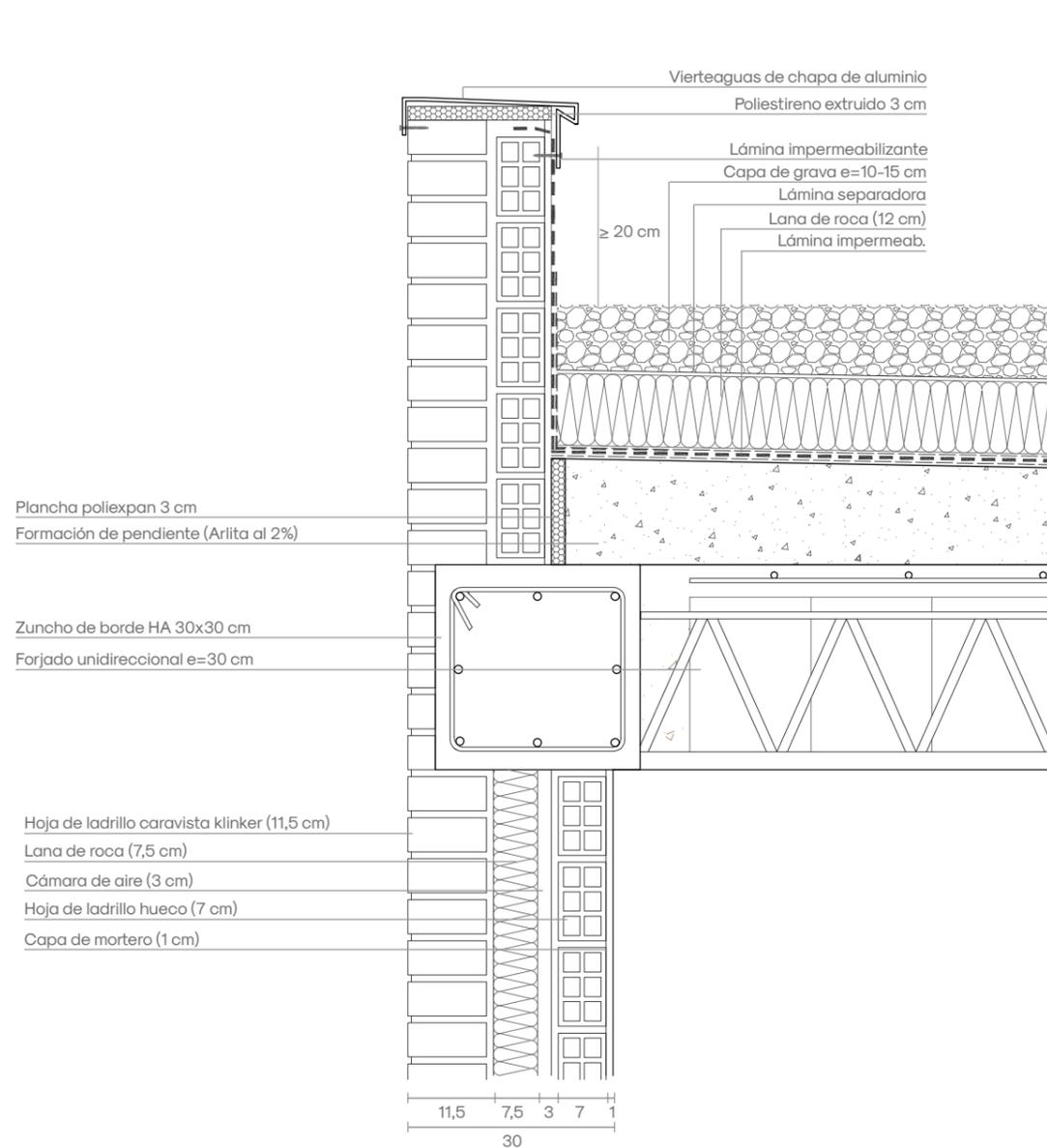
A la derecha se muestran los esquemas de encuentros a dibujar de cada caso.



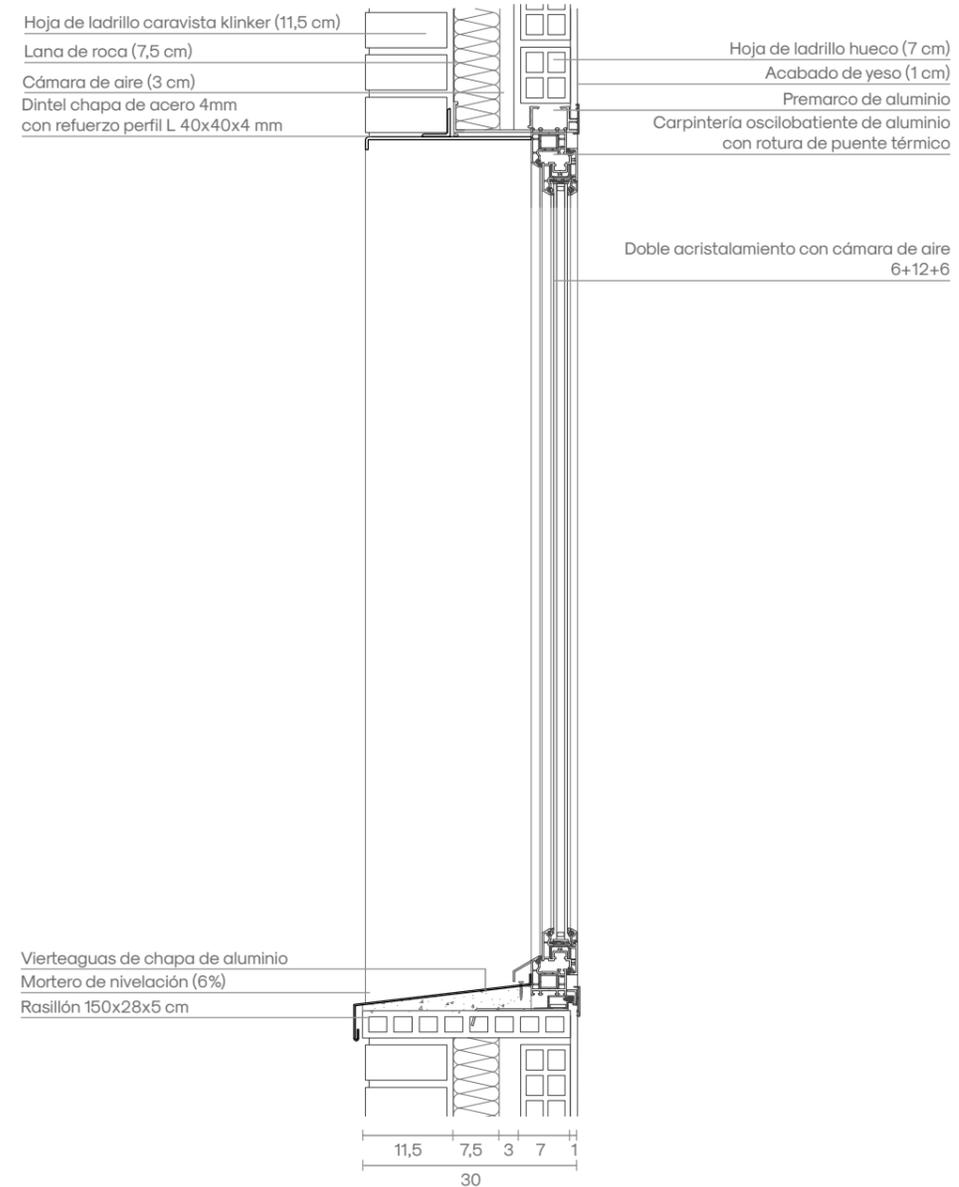
Localización de los detalles constructivos a estudiar
Escala 1:50

CASO 1: CUBIERTA INVERTIDA - FACHADA CAPUCHINA TRADICIONAL - FORJADO ANTIHUMEDAD

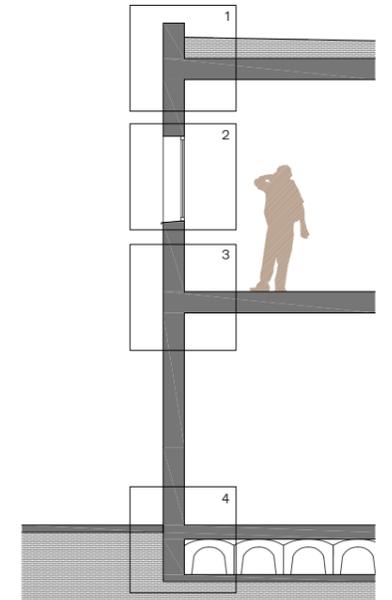
DETALLES 1 Y 2



Detalle 1: Encuentro de cubierta invertida no transitible y fachada capuchina
Escala 1:10



Detalle 2: Ventana practicable en fachada capuchina
Escala 1:10

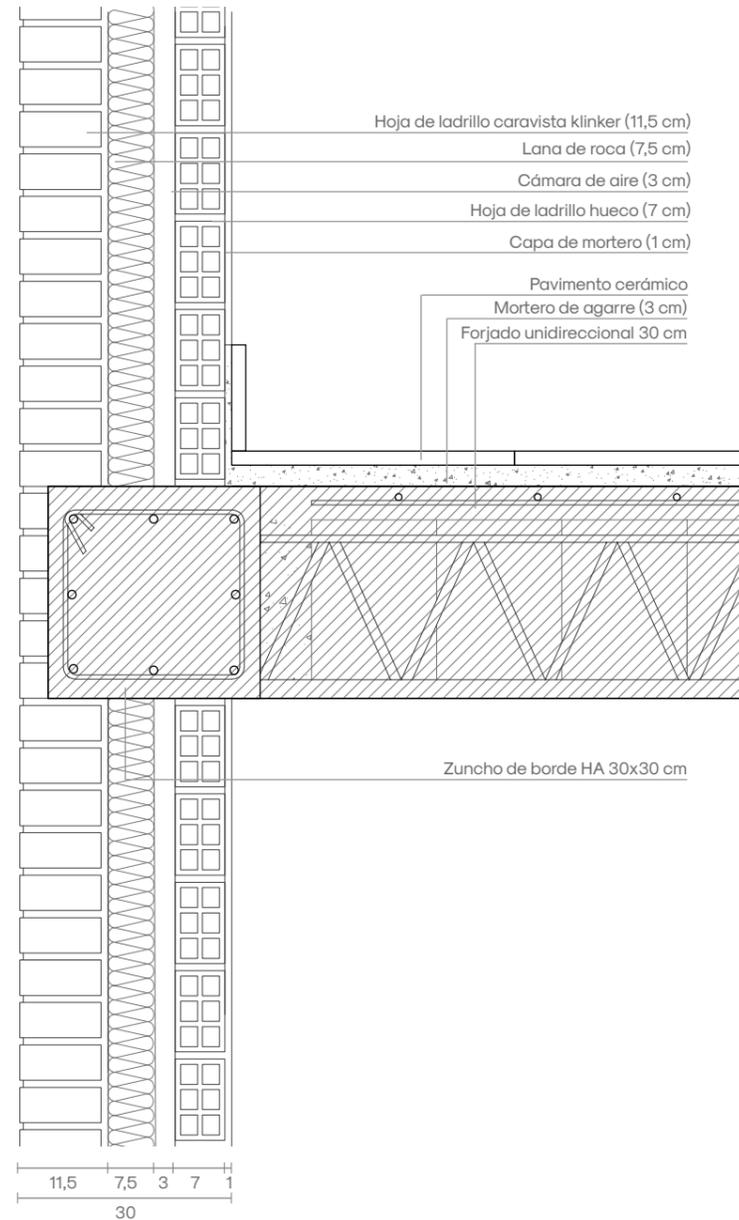


La fachada capuchina tradicional está compuesto por dos hojas de ladrillo cerámico, una interior y otra exterior, que entre ellas tiene el aislamiento y/o una cámara de aire. El problema aparece en el encuentro con la estructura, ya que el aislamiento se ve interrumpido por el forjado y se produce un claro puente térmico.

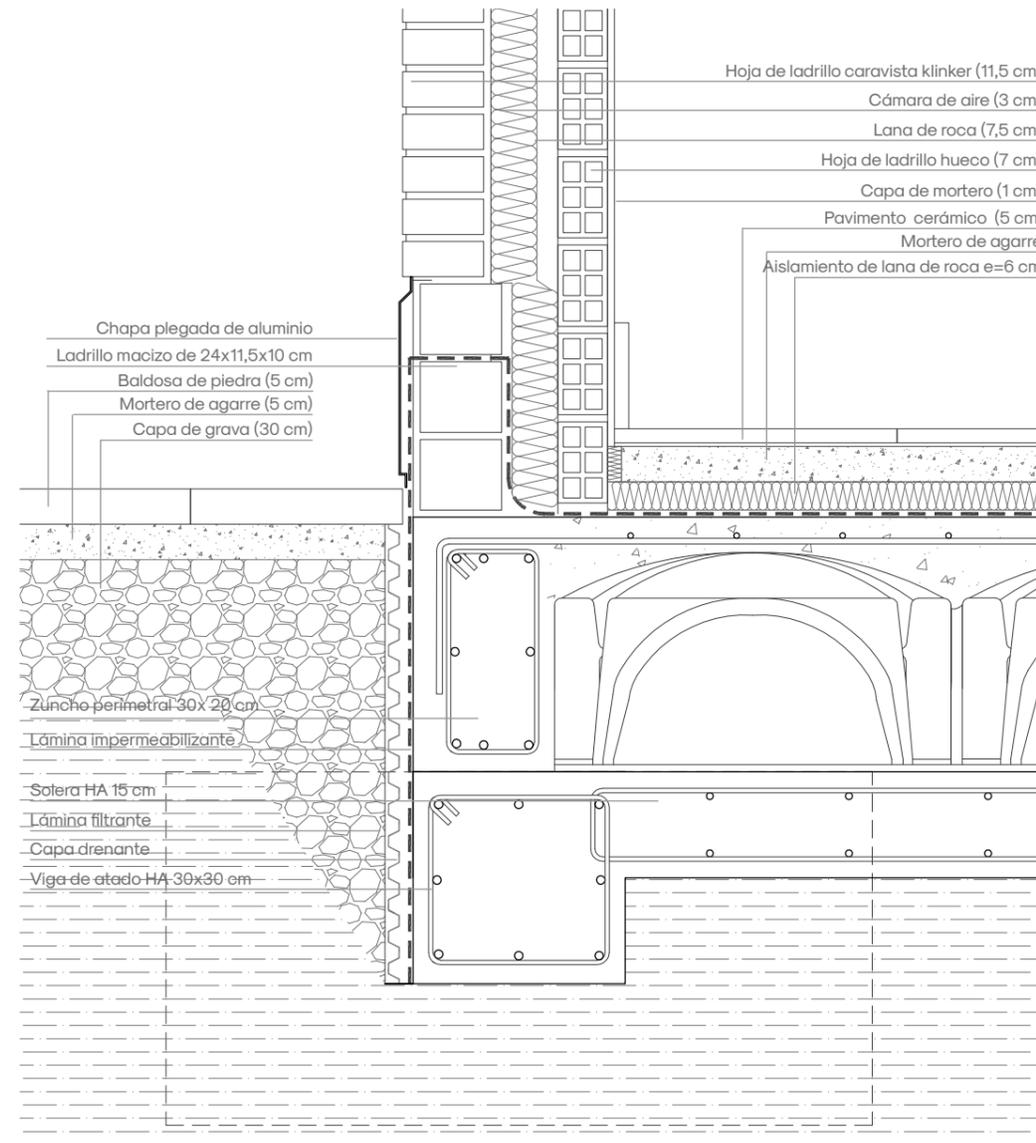
En los huecos de fachada existen muchos modos de resolver la capuchina, en este caso se decide cerrar la cámara de aire y el aislante con un rasillón donde apoya el vieriteaguas. El dintel se hace con una chapa de acero plegada y un perfil en L de refuerzo.

CASO 1: CUBIERTA INVERTIDA - FACHADA CAPUCHINA TRADICIONAL - FORJADO ANTIHUMEDAD

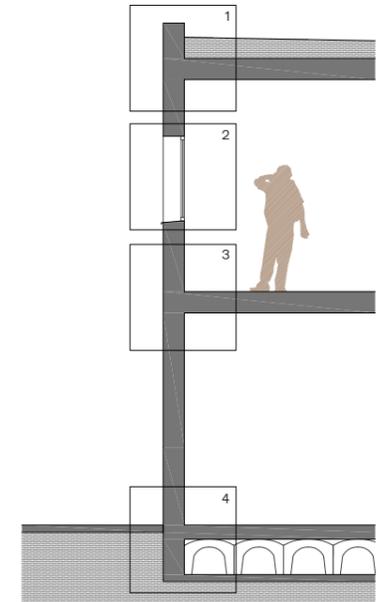
DETALLES 3 Y 4



Detalle 3: Encuentro de forjado intermedio con fachada capuchina
Escala 1:10



Detalle 4: Encuentro de fachada capuchina con el terreno y forjado antihumedad
Escala 1:10

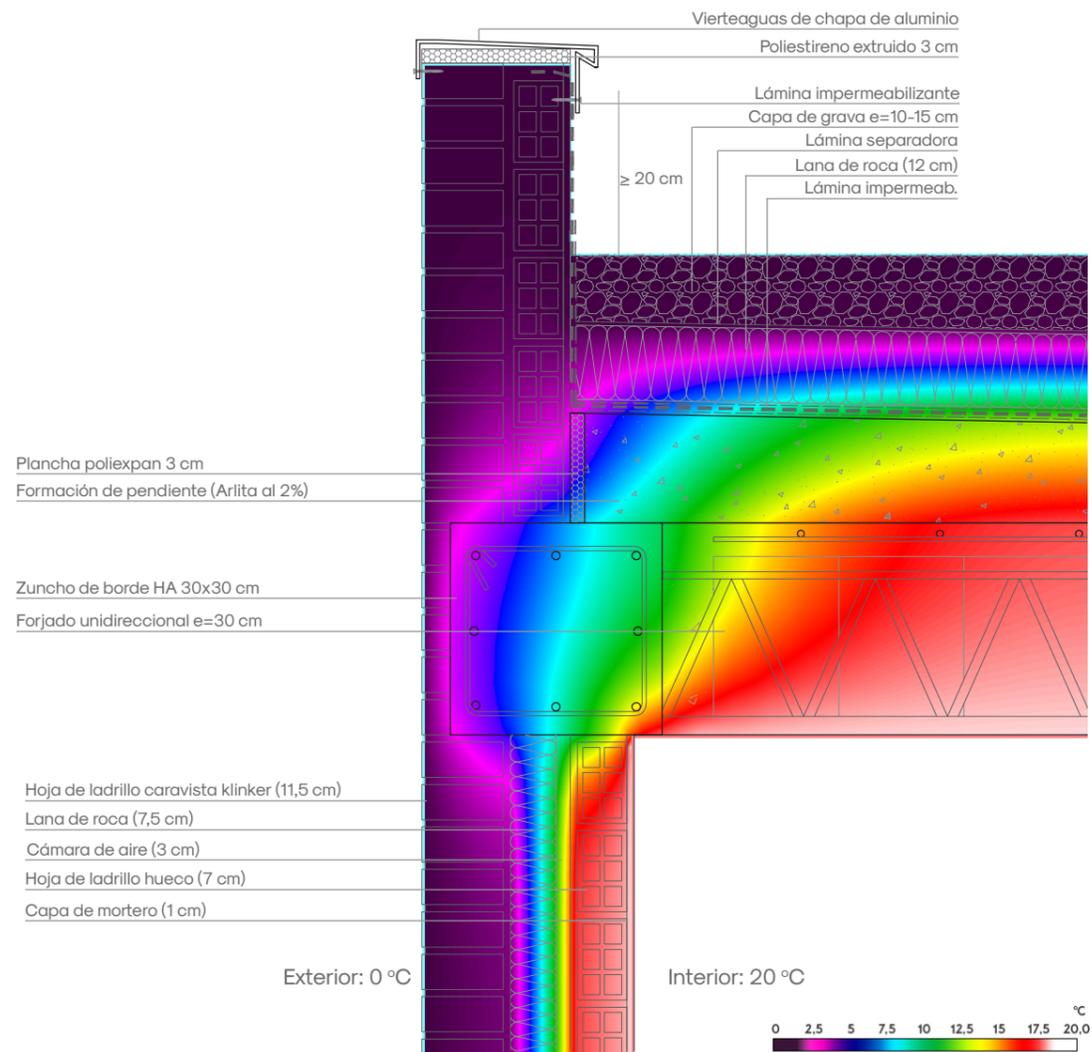


El encuentro de la fachada con el terreno debe estar impermeabilizado frente a las infiltraciones en el terreno. Por ello debe colocarse una lámina impermeabilizante que suba, al menos, 15 cm por encima del nivel de rasante, como marca el CTE.

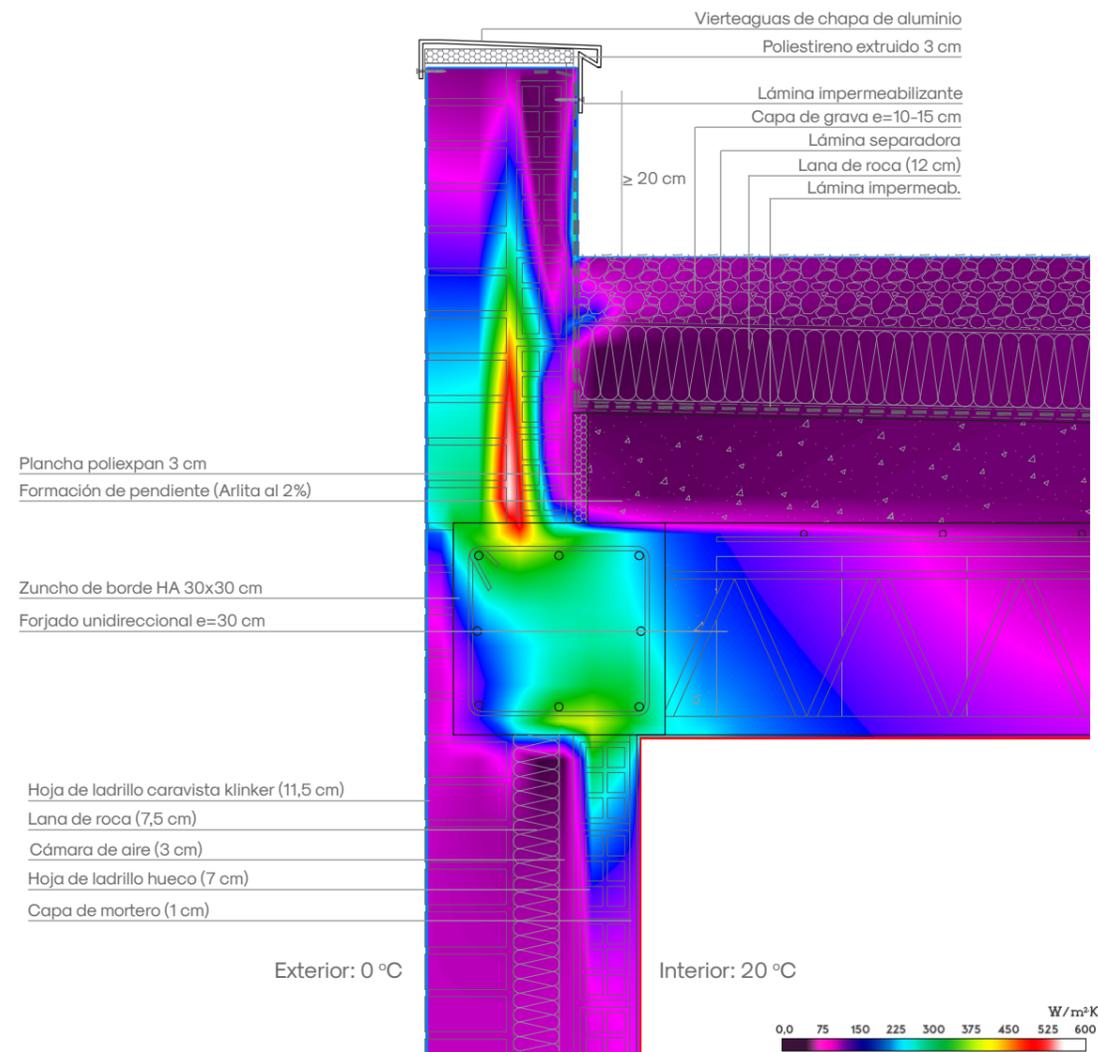
Se ha optado por una solución de piezas Caviti para formar la cámara de aire del forjado antihumedad, y se aísla también térmicamente por debajo del pavimento interior. Estas piezas se apoyan en una losa armada de 15 cm, que va atada a las vigas de atado de la cimentación.

CASO 1: CUBIERTA INVERTIDA - FACHADA CAPUCHINA TRADICIONAL - FORJADO ANTIHUMEDAD

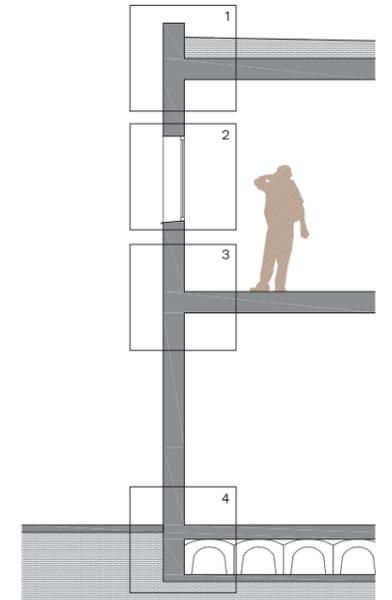
TERMOGRAFÍA DETALLE 1



Detalle 1.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 1. Escala 1:10



Detalle 1.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 1. Escala 1:10



Observaciones:

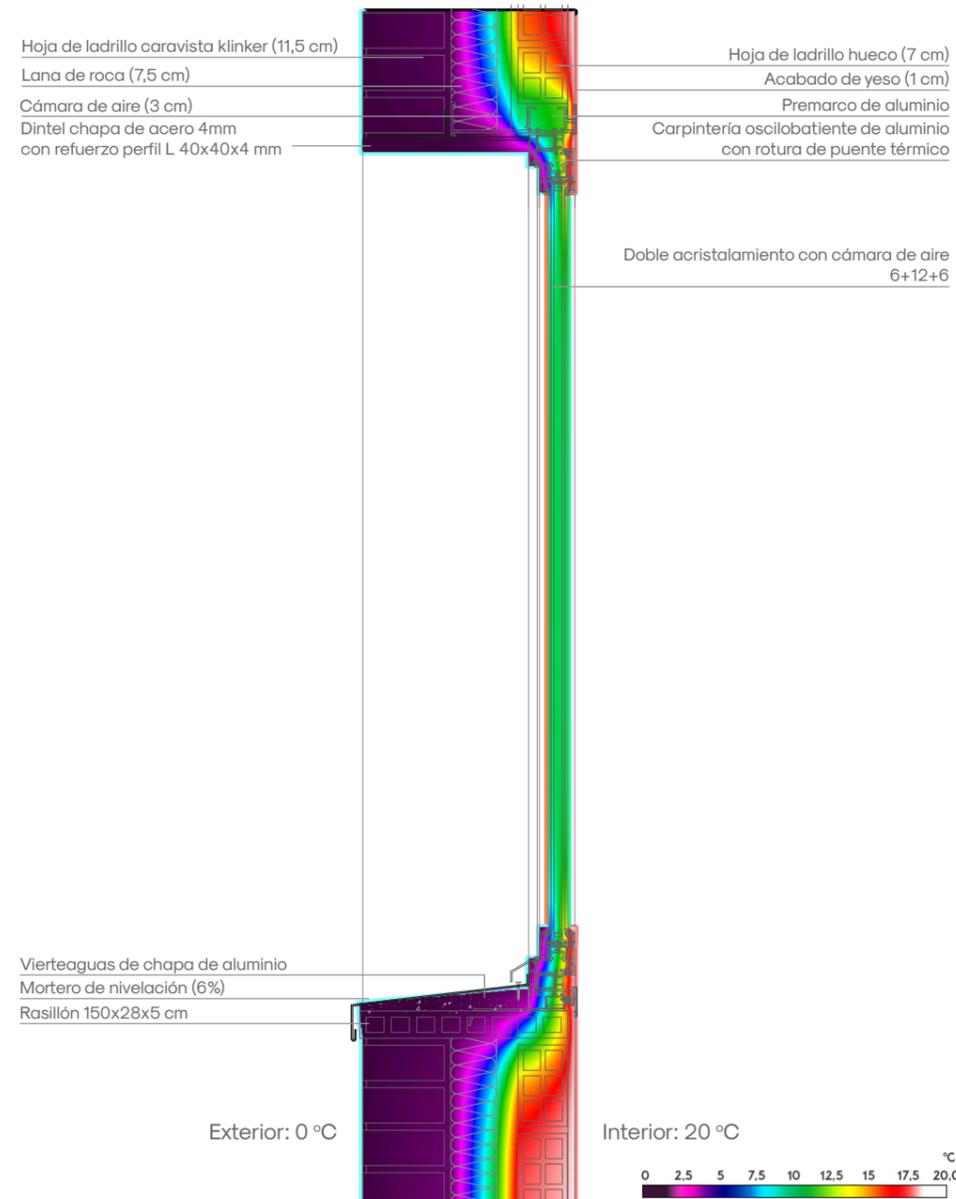
- Existe un claro puente térmico a través de la viga, que es el obstáculo para que el aislamiento térmico de cubierta y fachada se cierren.

- Aunque la cubierta y la fachada tienen un aislamiento correcto, dejar un punto de esas dimensiones supone ya una pérdida de calor considerable, ya que tiene lugar en toda la longitud de la viga.

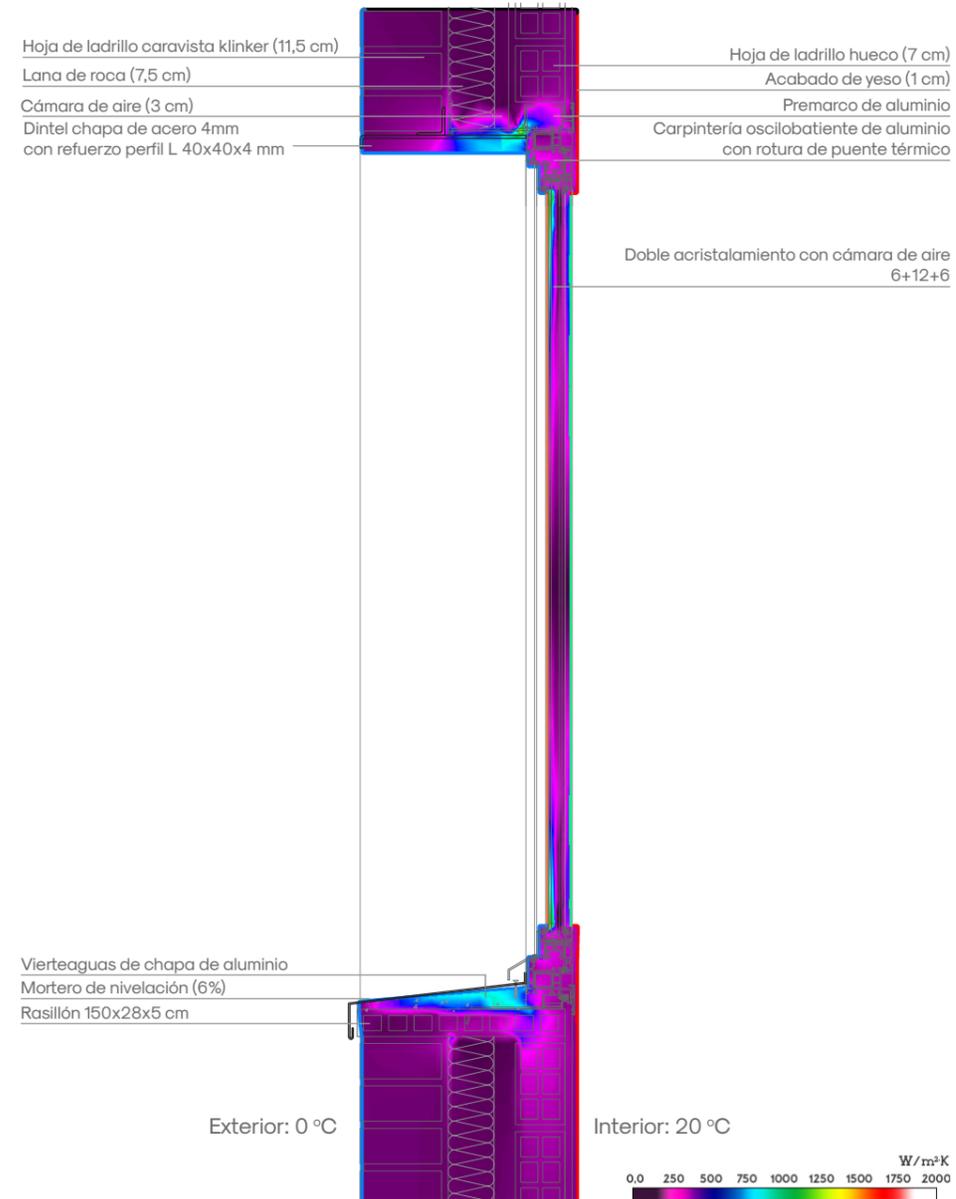
- Evidentemente, en el peto de cubierta no interesa mantener la temperatura, únicamente que la dilatación de la cubierta tenga una junta con polixpan que evite el empuje.

CASO 1: CUBIERTA INVERTIDA - FACHADA CAPUCHINA TRADICIONAL - FORJADO ANTIHUMEDAD

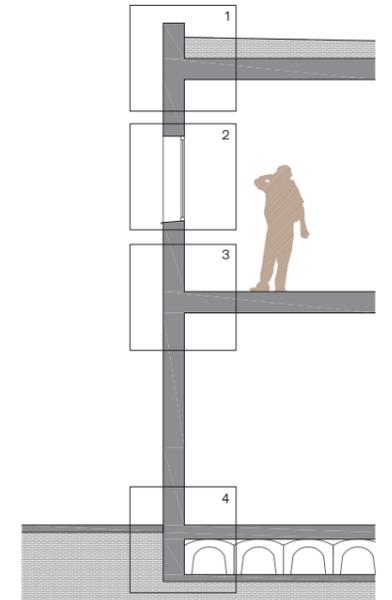
TERMOGRAFÍA DETALLE 2



Detalle 2.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 2. Escala 1:10



Detalle 2.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 2. Escala 1:10



Observaciones:

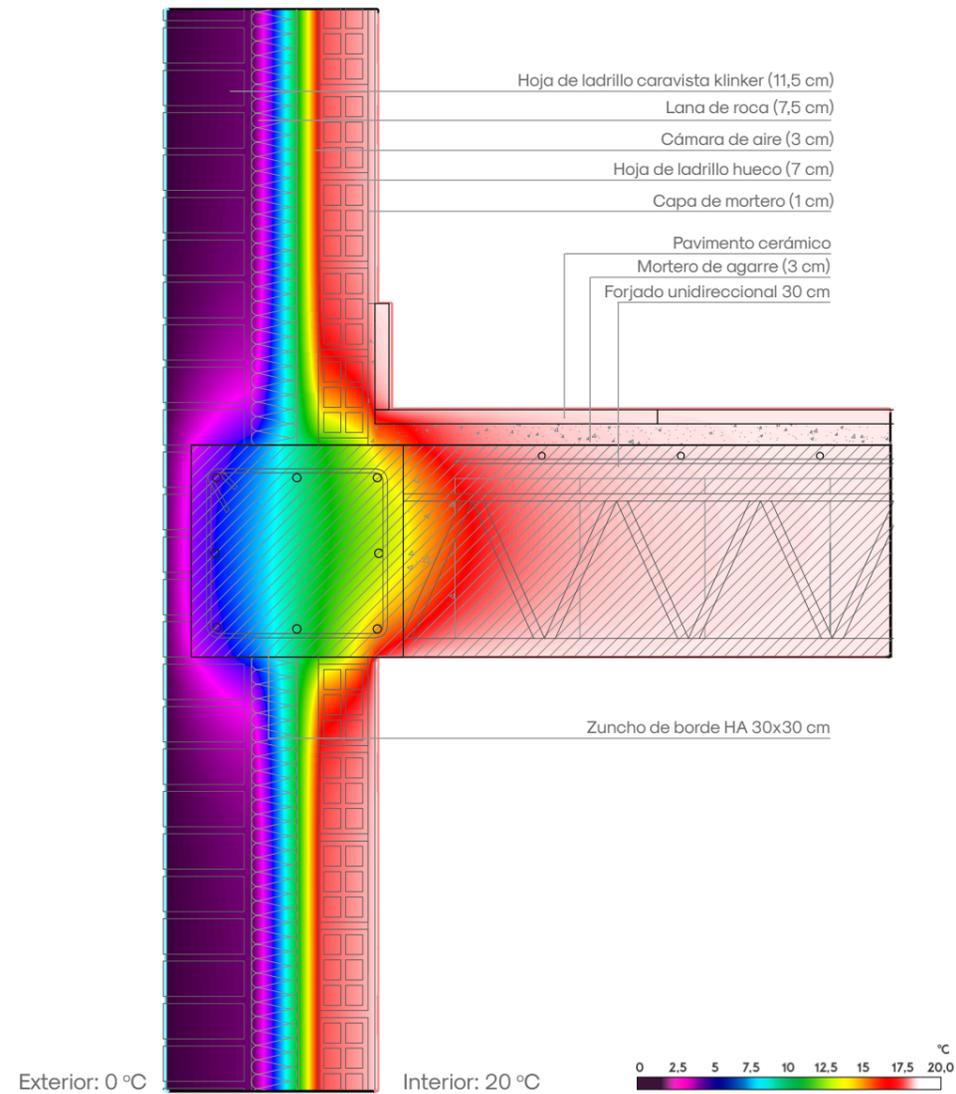
- Las ventanas son un punto débil en el cerramiento. Las pérdidas son más o menos evitables en la medida de la resistencia térmica del vidrio y de la carpintería.

- Sin embargo, puede tener un remedio efectivo en la forma de ejecución de los bordes, y cerrando lo mejor posible con aislamiento.

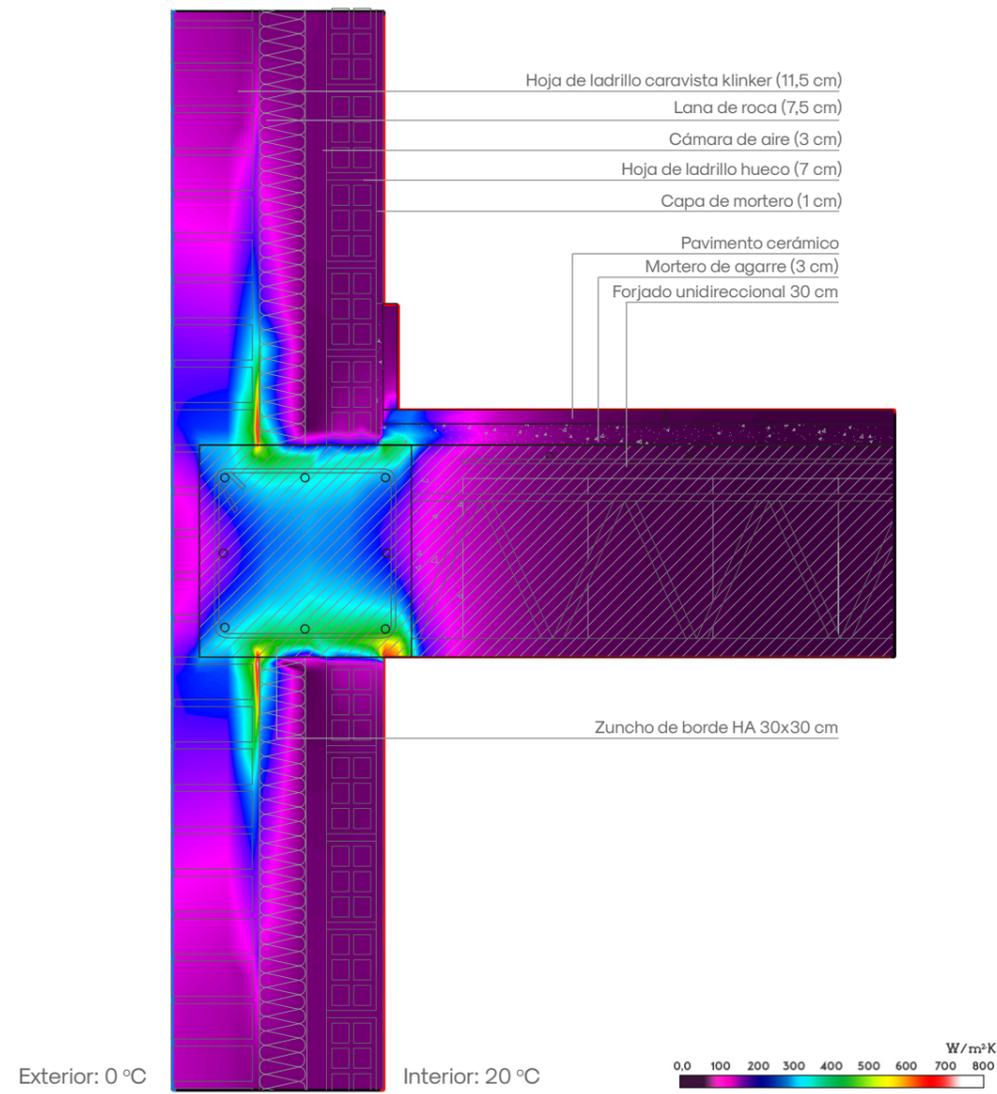
- En este caso, se ve que una construcción en la que no cierra del todo el aislamiento puede tener puentes térmicos por los encuentros del premarco con la fachada, y por el vierendeaguas.

CASO 1: CUBIERTA INVERTIDA - FACHADA CAPUCHINA TRADICIONAL - FORJADO ANTIHUMEDAD

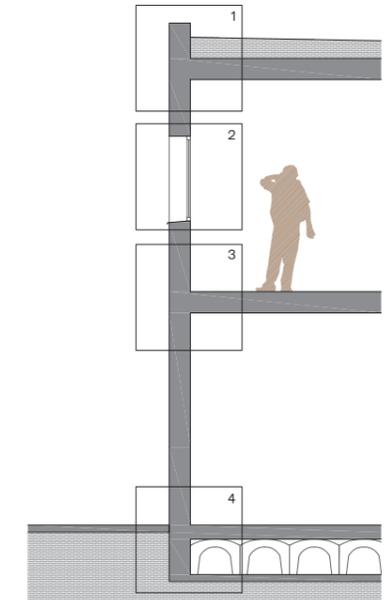
TERMOGRAFÍA DETALLE 3



Detalle 3.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 3. Escala 1:10



Detalle 3.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 3. Escala 1:10

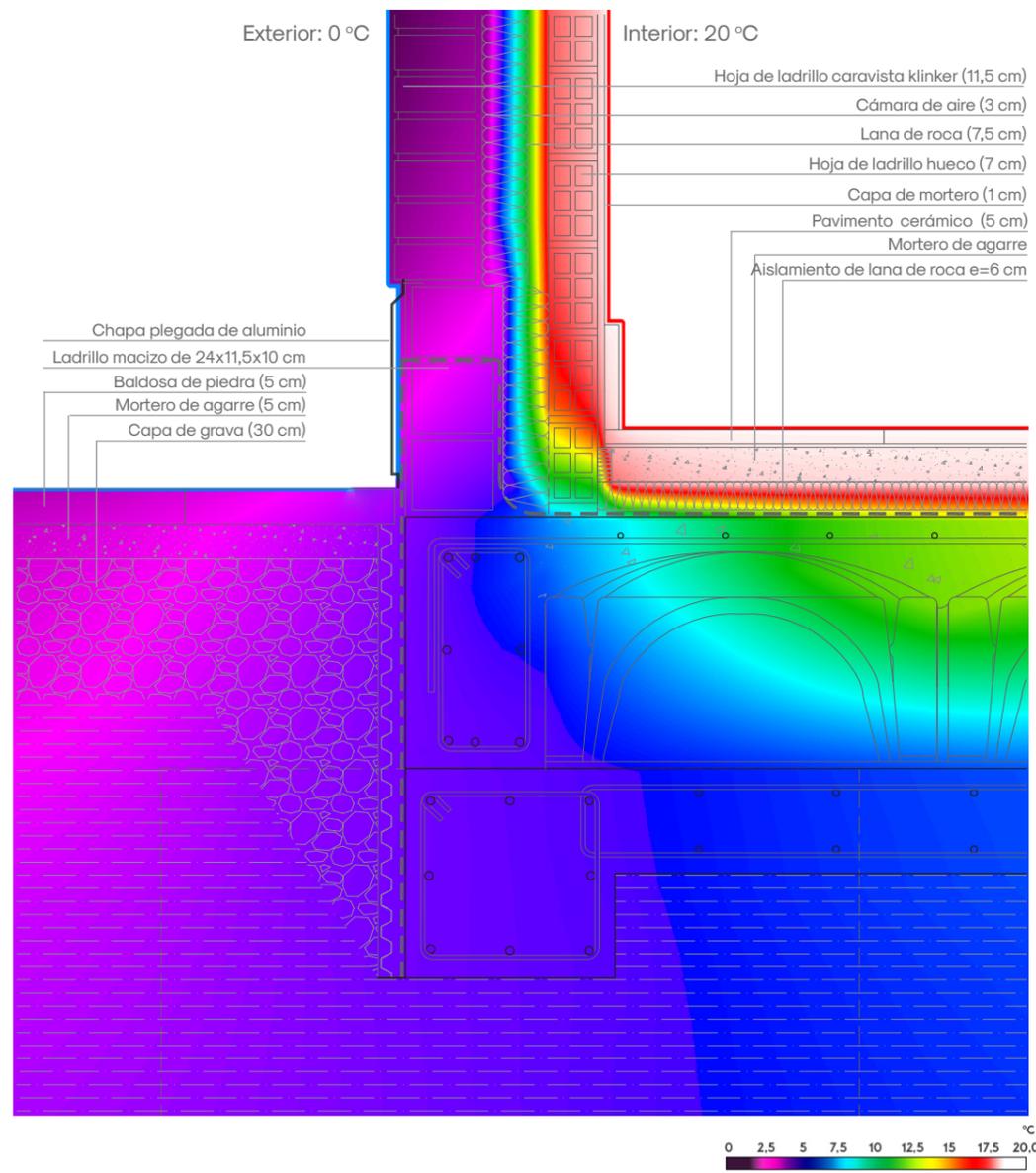


Observaciones:

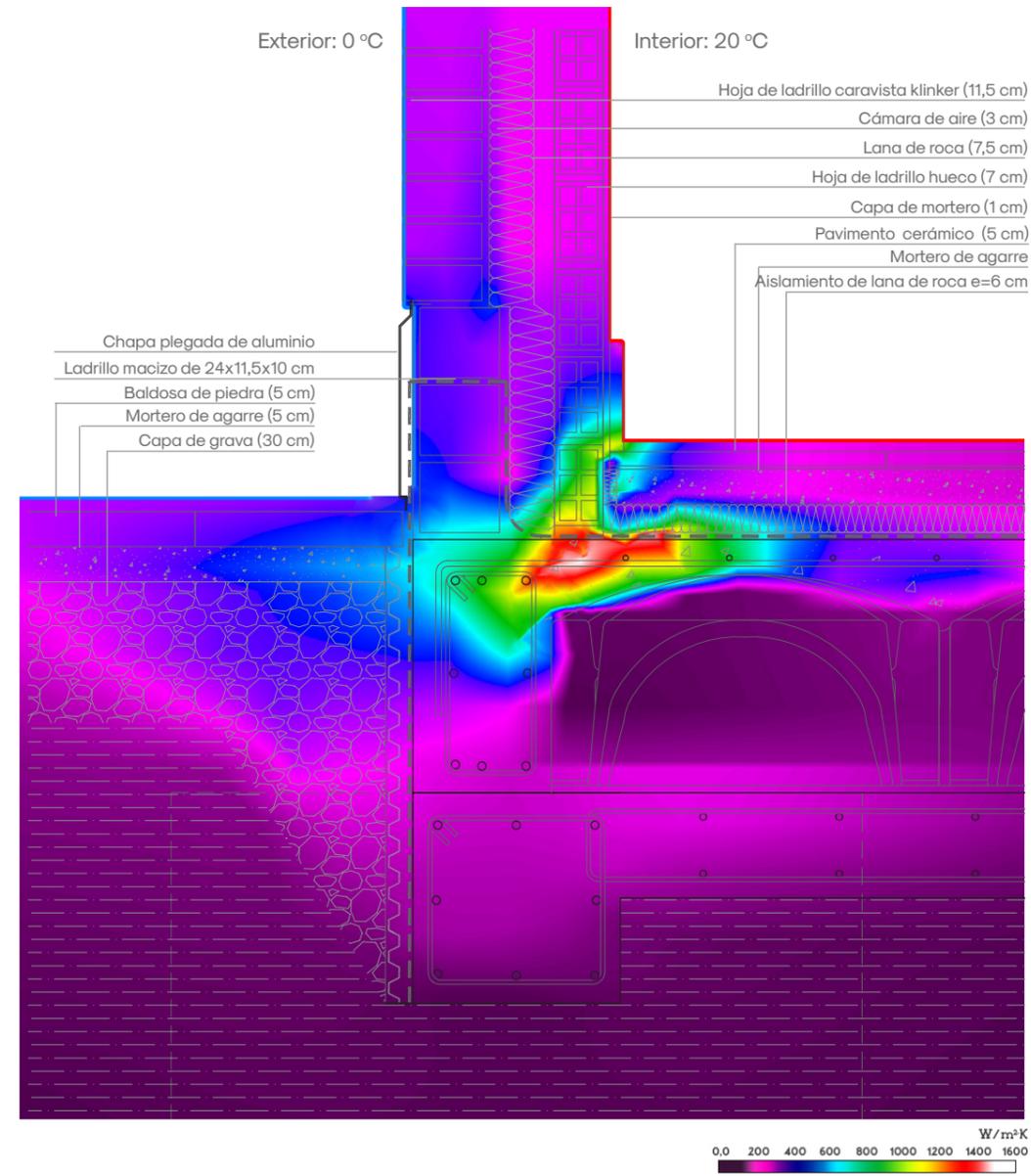
- En el encuentro de la fachada con el forjado existe un puente térmico importante a través de la viga, como en el ejemplo 1.
- El aislante térmico es interrumpido por la viga perimetral y el calor interior escapa a lo largo de la misma. Por tanto, es muy importante tener en cuenta este punto crítico para aislar correctamente el interior.

CASO 1: CUBIERTA INVERTIDA - FACHADA CAPUCHINA TRADICIONAL - FORJADO ANTIHUMEDAD

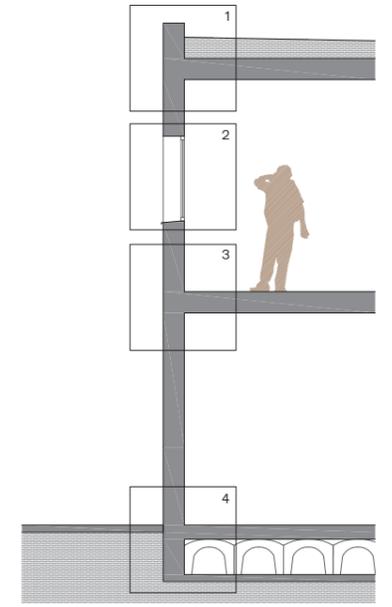
TERMOGRAFÍA DETALLE 4



Detalle 4.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 4.
Escala 1:10



Detalle 4.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 4.
Escala 1:10



Observaciones:

- Un punto siempre a tener en cuenta es en el encuentro de la fachada con la cimentación. En este caso se ha optado por un forjado sanitario formado por piezas Caviti® con el aislamiento térmico sobre la capa de compresión.
- Siempre quedará algún punto débil de apoyo, en este ejemplo es la hoja de ladrillo interior. Aunque no sea tan intenso como en el ejemplo anterior, hay que considerar este puente térmico.

CASO 2: SISTEMA ELESDOPA

ELEMENTO ESTRUCTURAL DE DOBLE PARED

La Tecnología Elesdopa permite generar paramentos de doble o múltiple pared de hormigón armado mediante el empleo de soportes ligeros o huecos sobre los que se adosan las armaduras de acero en cada cara y posteriormente se proyecta hormigón recubriendo las armaduras y conformando de esta manera el paramento. La filosofía del elemento constructivo es conseguir mayor momento resistente con el mismo gasto de material eliminando el hormigón improductivo en el interior del elemento estructural.

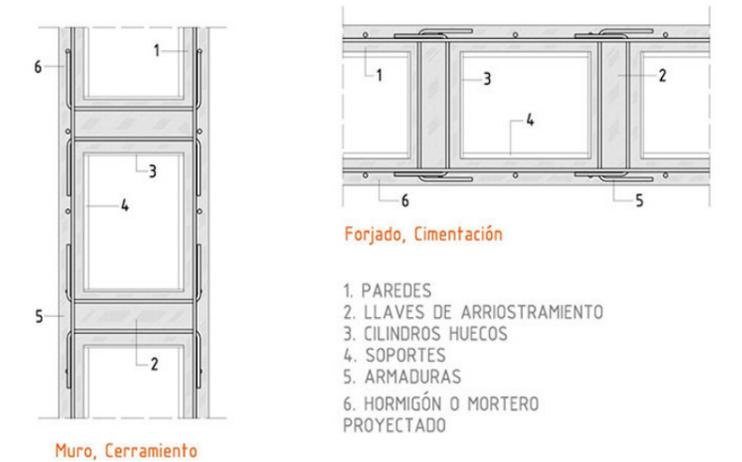
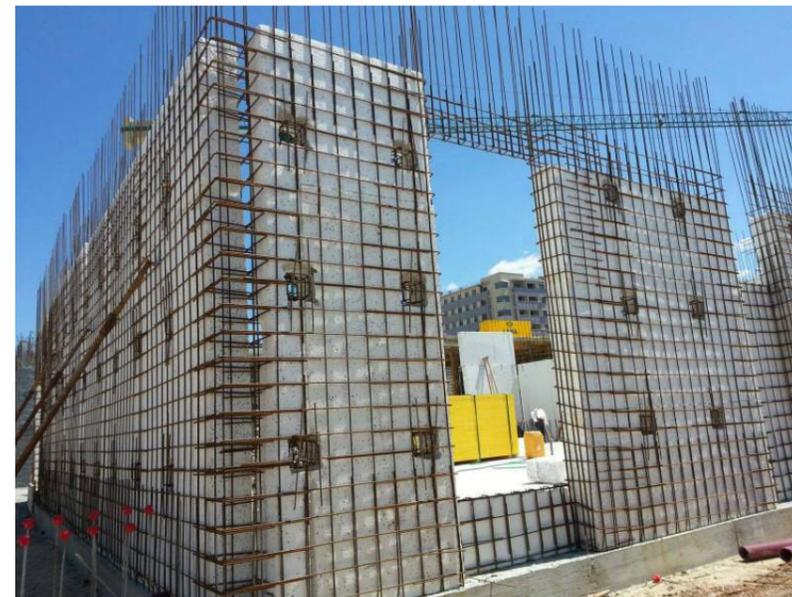
Estas son algunas de sus ventajas e innovaciones:

- Elemento estructural innovador: posibilita la realización de nuevas estructuras tanto de edificación como de obra civil.
- Estructuras huecas, con menor peso propio y gran esbeltez. Posibilidad de incorporar instalaciones y aislamiento en el Interior.
- Bajo coste económico. Menor consumo de material.
- Máximo aprovechamiento de las capacidades mecánicas de los materiales.
- Estructuras de gran rigidez y poco peso. Muy apropiado para zonas sísmicas.
- Gran flexibilidad de formas en las estructuras idóneo para geometrías complejas autoportantes.
- Facilidad de puesta en obra. Menor Incidencia de mano de obra. Muy versátil en rehabilitación y refuerzos estructurales.
- Alta resistencia al fuego. Idóneo para sectorización, garajes o almacenes.
- Gran aislamiento térmico.

PROCESO CONSTRUCTIVO

La forma de ejecutar un paramento con este sistema es la siguiente: Se prepara un soporte, bien sea de doble lámina o macizo, con las dimensiones y forma de éste. El soporte está dotado de unos huecos donde se situarán los conectores. Se introducen por los huecos las armaduras de los conectores. Se adosan en cada cara del soporte las armaduras de las paredes. Se proyecta hormigón o mortero empezando por macizar los huecos y a continuación se proyecta sobre cada cara del soporte recubriendo las armaduras respectivas. De esta manera queda confeccionado el paramento que irá ganando resistencia conforme va fraguando y endureciendo el hormigón.

Por tanto, con el mismo gasto de material se consigue el momento de inercia. Las dos paredes de nuestro elemento se arriostran cada cierta distancia con unos conectores que son también de hormigón armado. Se consiguen de esta manera unos paramentos de gran resistencia con muy poco gasto de material.



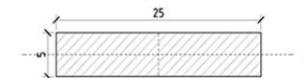
Forjado, Cimentación

1. PAREDES
2. LLAVES DE ARRIOSTRAMIENTO
3. CILINDROS HUECOS
4. SOPORTES
5. ARMADURAS
6. HORMIGÓN O MORTERO PROYECTADO

Muro, Cerramiento

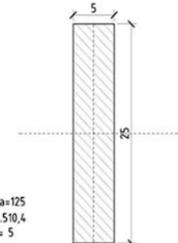
Secciones tipo

VIGA RECTANGULAR PLANA



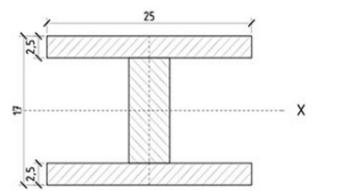
Masa=125
Ix=260,40
Sup= 25

VIGA RECTANGULAR DE CANTO



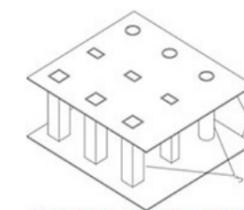
Masa=125
Ix=6.510,4
Sup= 5

ELESDOPA
Elesdopa= viga de canto en inercia
Elesdopa= viga plana en superficie horizontal

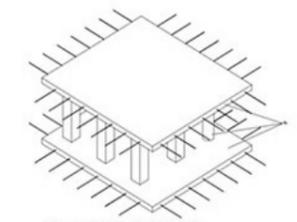


Masa=125
Ix=6.635,4
Sup= 25

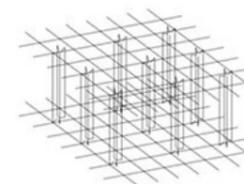
Comparativa de masas e inercias



- Soportes: Tablero o Porexpan



- Elemento Acabado



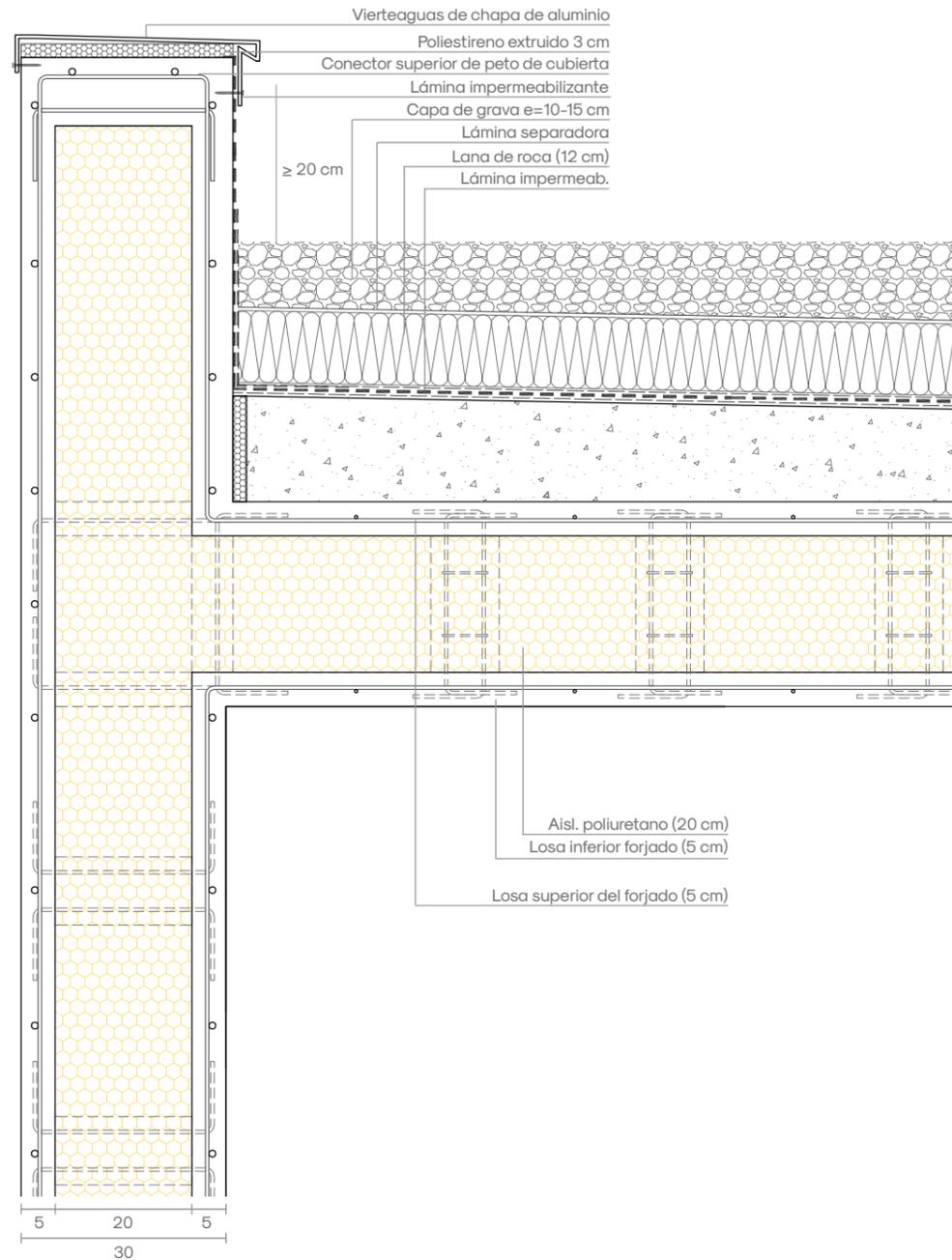
- Armaduras

1. PAREDES
2. LLAVES DE ARRIOSTRAMIENTO
3. CILINDROS HUECOS
4. SOPORTES
5. ARMADURAS
6. HORMIGÓN O MORTERO PROYECTADO

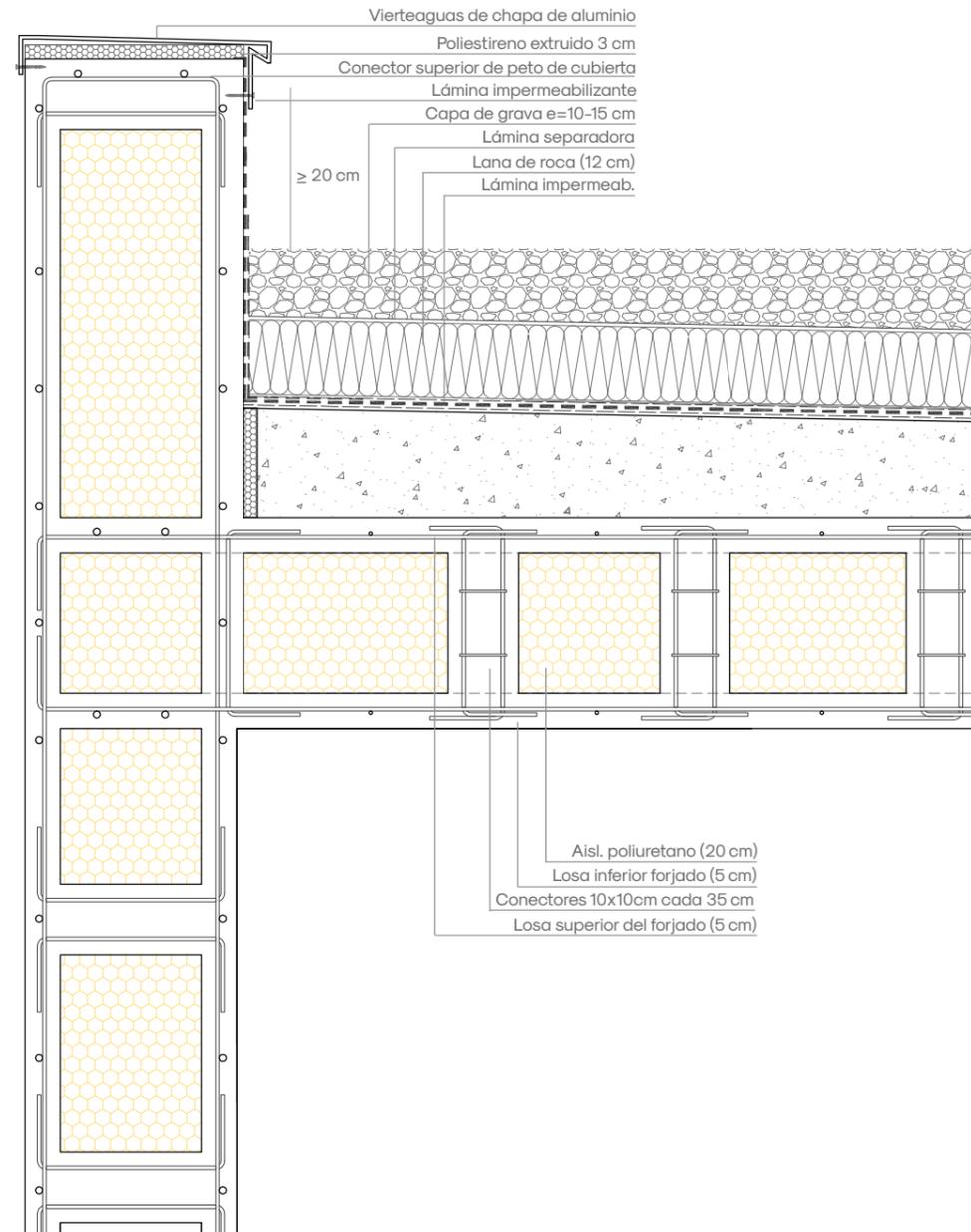
Proceso constructivo de Elesdopa

CASO 2: SISTEMA ELESDOPA

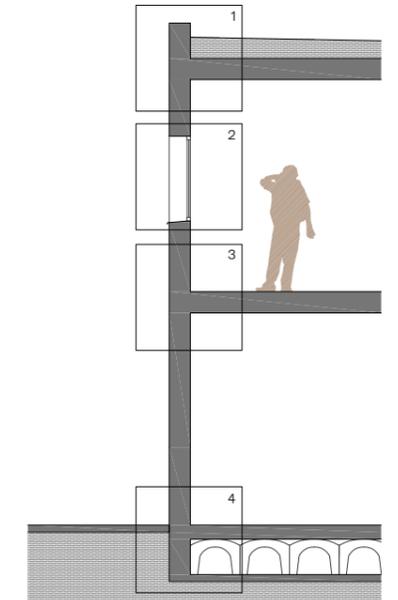
DETALLE 1



Detalle 1.1.: Encuentro de cubierta con fachada por el aislamiento.
Escala 1:10



Detalle 1.2.: Encuentro de cubierta con fachada a través de los conectores.
Escala 1:10

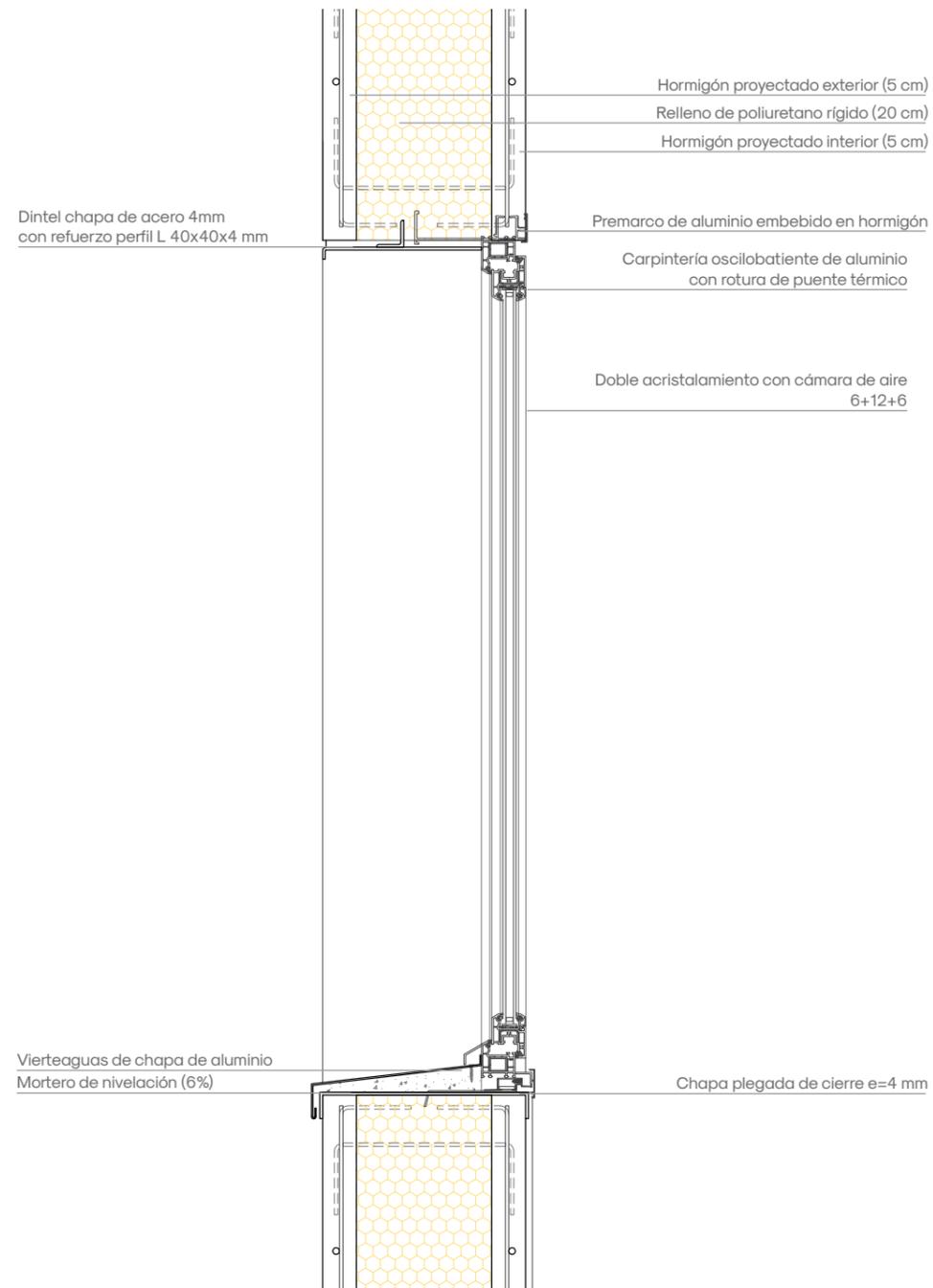


El sistema Elesdopa parte de una gran ventaja con respecto a otros cerramientos: hay un gran ahorro de material en su ejecución. Con un interior útil para albergar instalaciones, se ha decidido optar por un relleno que mejore decididamente el aislamiento térmico del edificio. Se utiliza piezas de poliuretano de 20 cm, un espesor de aislamiento térmico incomparable a otros sistemas.

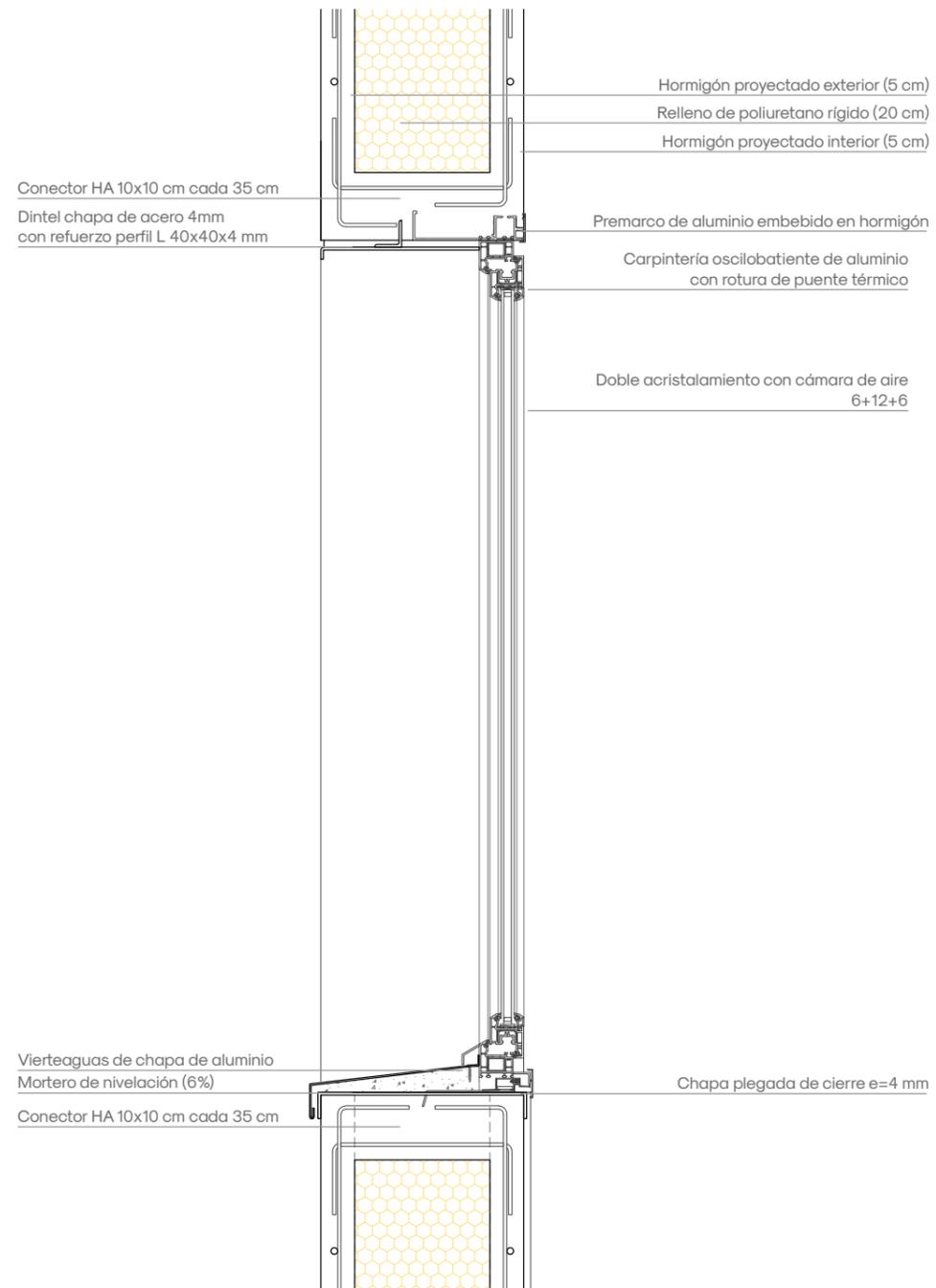
Sin embargo, tiene un inconveniente: los conectores entre las dos caras del cerramiento ejercen de puentes térmicos. No son de gran tamaño, pero sí que son muchos en cantidad, aproximadamente cada 30-40 cm.

CASO 2: SISTEMA ELESDOPA

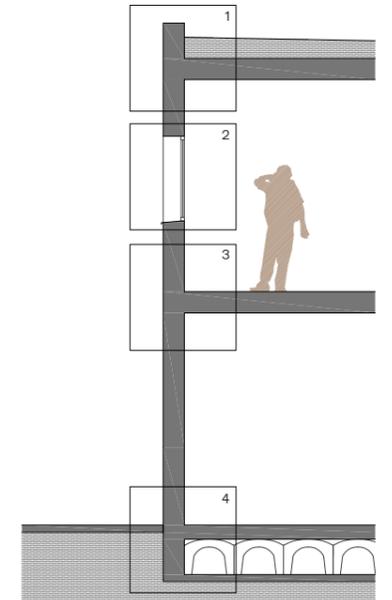
DETALLE 2



Detalle 2.1.: Ventana practicable en fachada de Elesdopa por el aislamiento. Escala 1:10



Detalle 2.2.: Ventana practicable en fachada de Elesdopa a través de los conectores. Escala 1:10

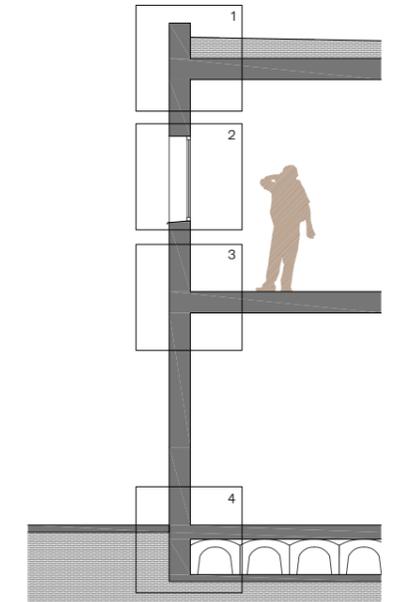
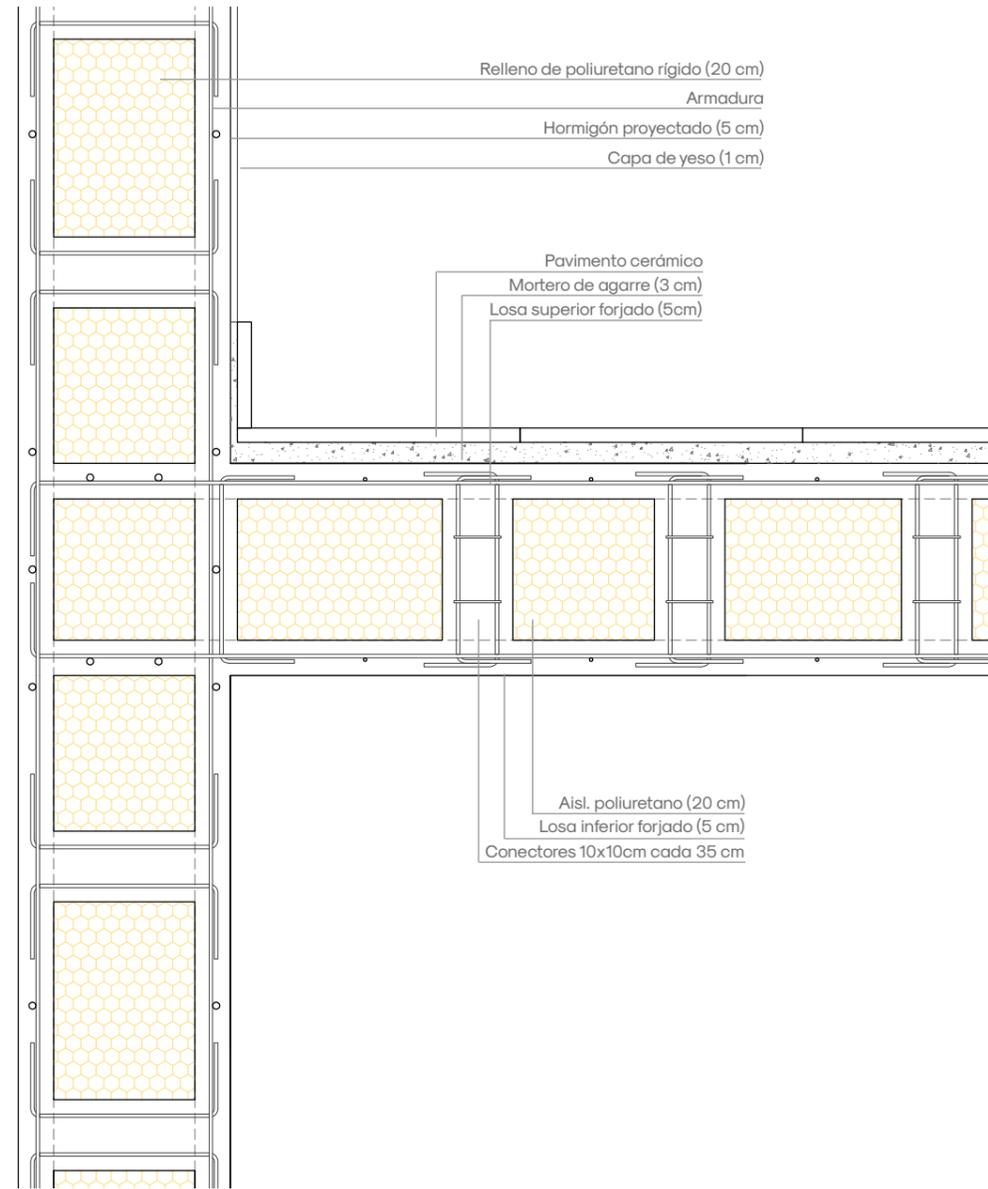
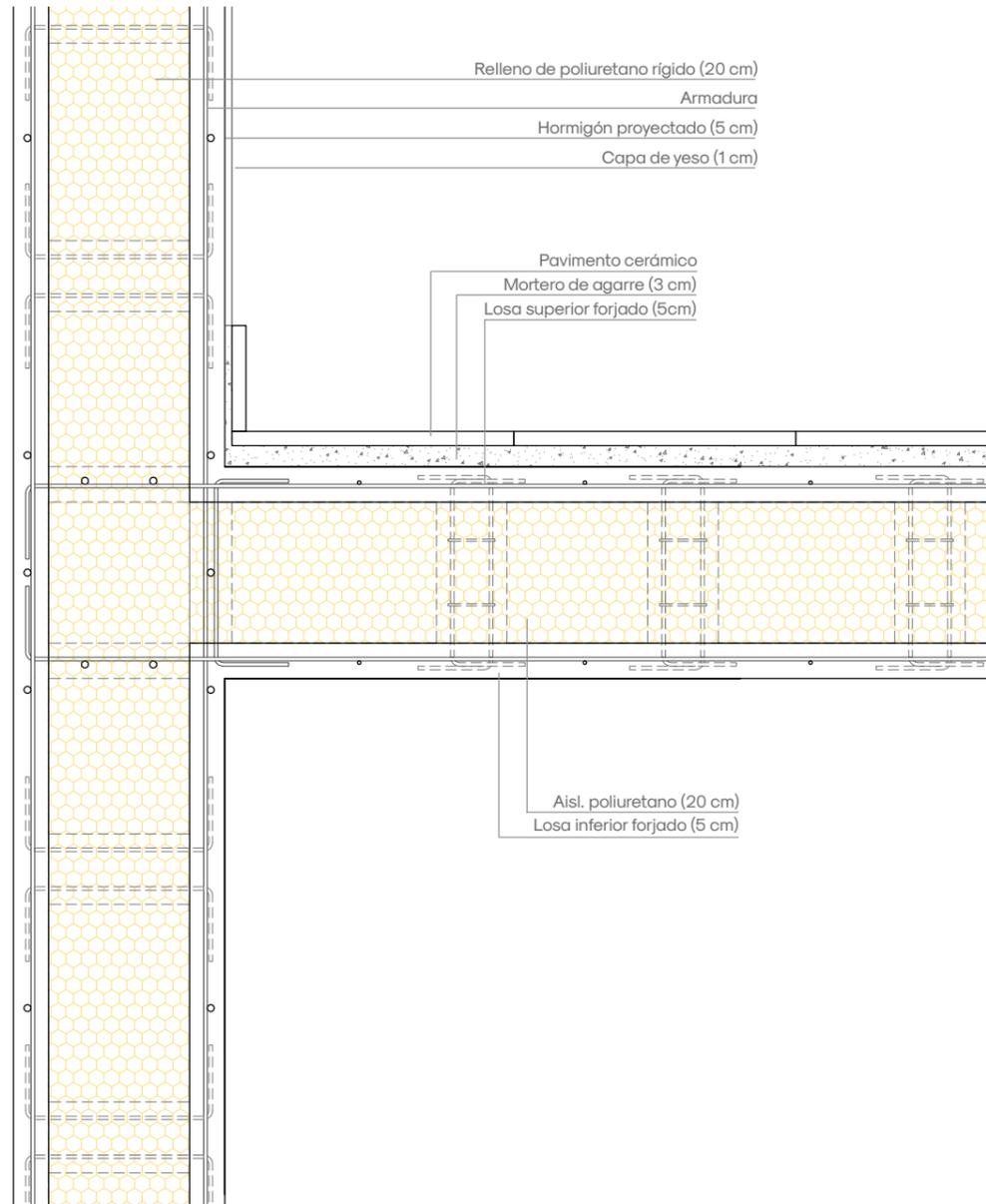


La carpintería del hueco de fachada tiene, como el sistema en general, la ventaja de estar en contacto directo con el aislamiento y el inconveniente de tener puentes térmicos en los conectores.

El apoyo del vierteaguas es discontinuo, lo que permite cerrar con aislamiento en la mayoría del encuentro. El premarco va embebido en el hormigón de la cara interior.

CASO 2: SISTEMA ELESDOPA

DETALLE 3



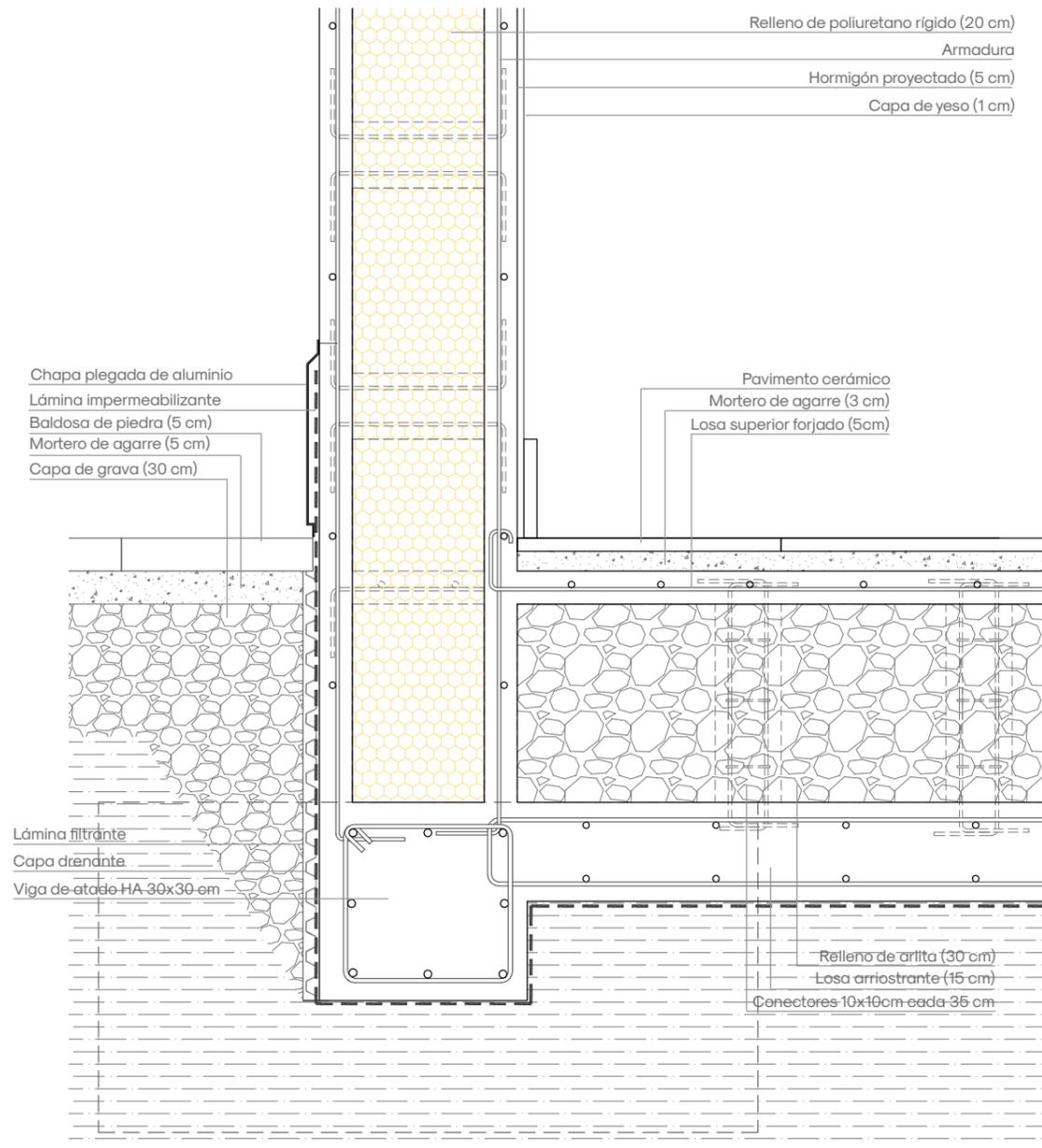
Los conectores funcionan como los cercos en las vigas de hormigón armado: van atando las caras del cerramiento y actúan a cortante.

El armado de los conectores horizontales se pliegan cerrándose, mientras que los de los verticales se pliegan abiertos.

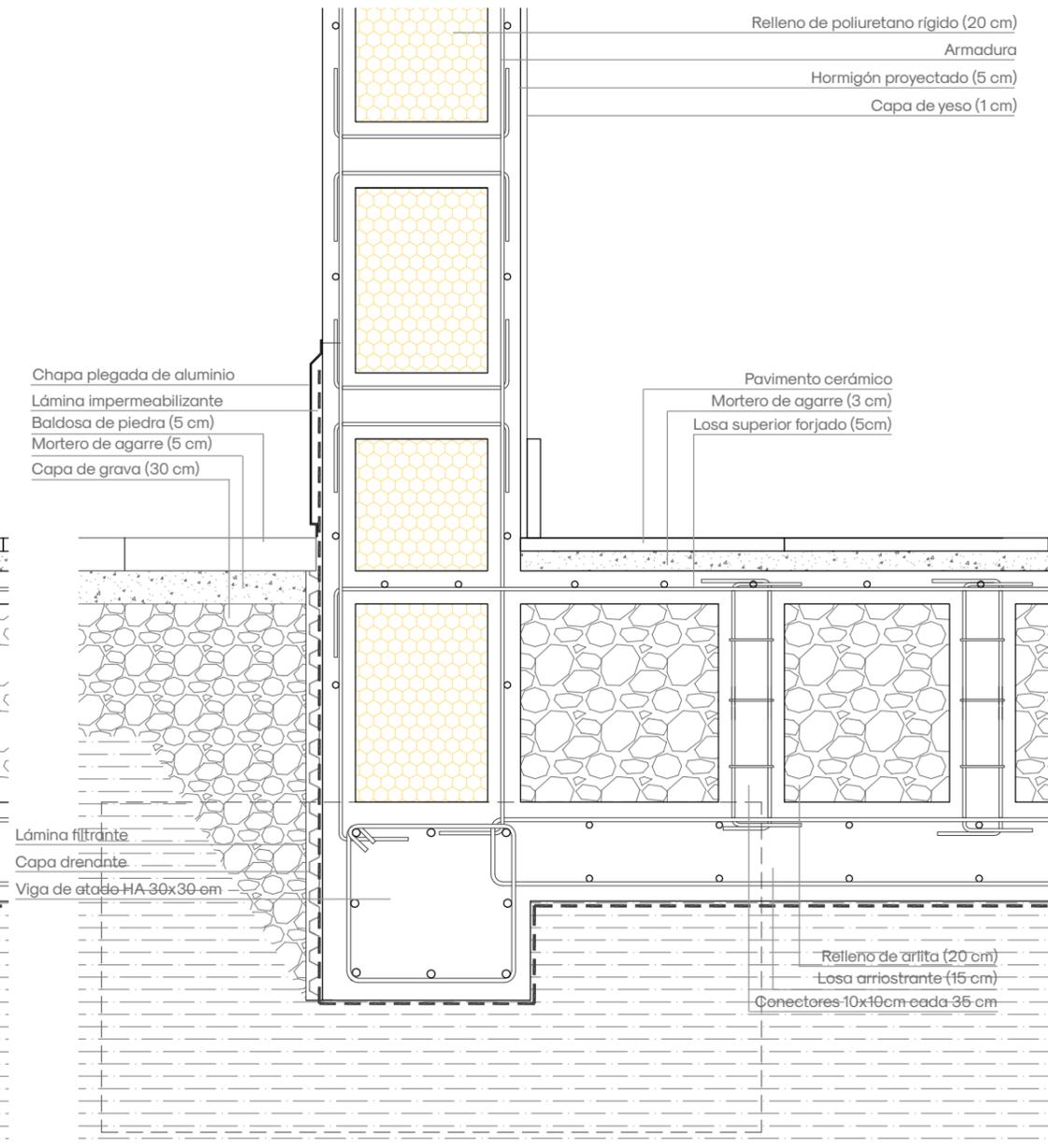
Sobre el hormigón interior se coloca el pavimento y el enflucido de yeso del interior.

CASO 2: SISTEMA ELESDOPA

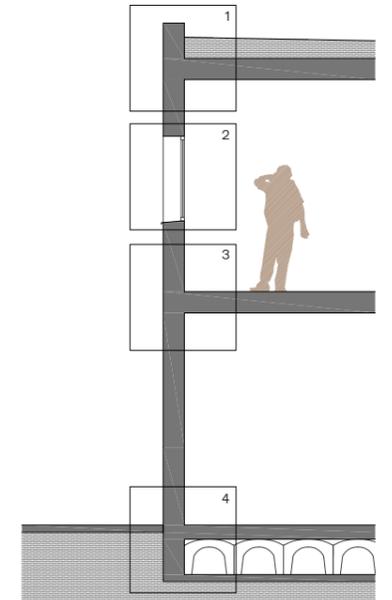
DETALLE 4



Detalle 4.1.: Encuentro de fachada con cimentación por el aislamiento.
Escala 1:10



Detalle 4.2.: Encuentro de fachada con cimentación a través de los conectores.
Escala 1:10

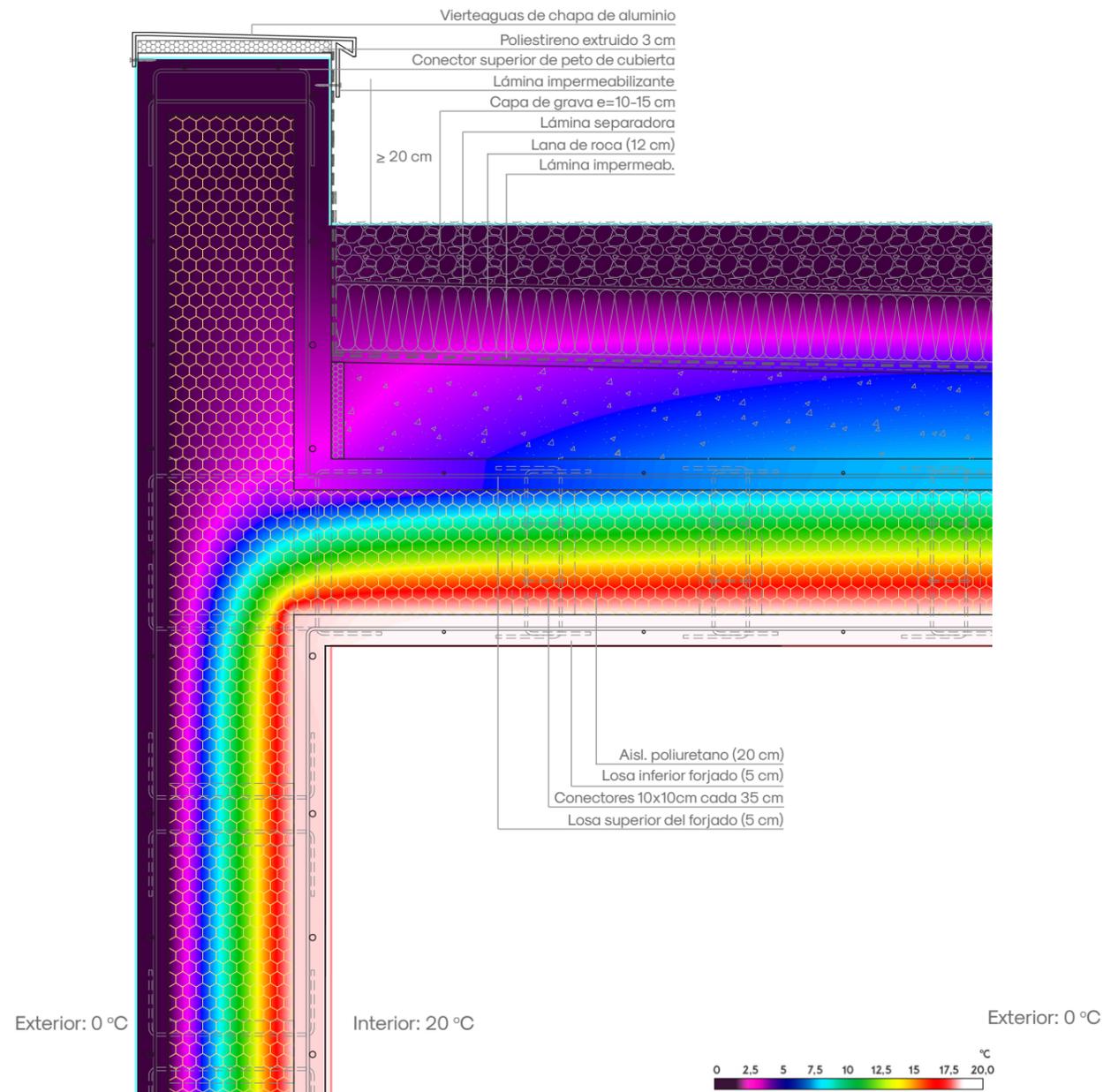


El sistema Elesdopa tiene su propia solución para crear la cámara de aire entre el terreno y el interior. Sobre la losa de hormigón armado de 15 cm se rellena con arlita en una cámara de 30 cm y con los conectores que apoyan la capa superior de HA.

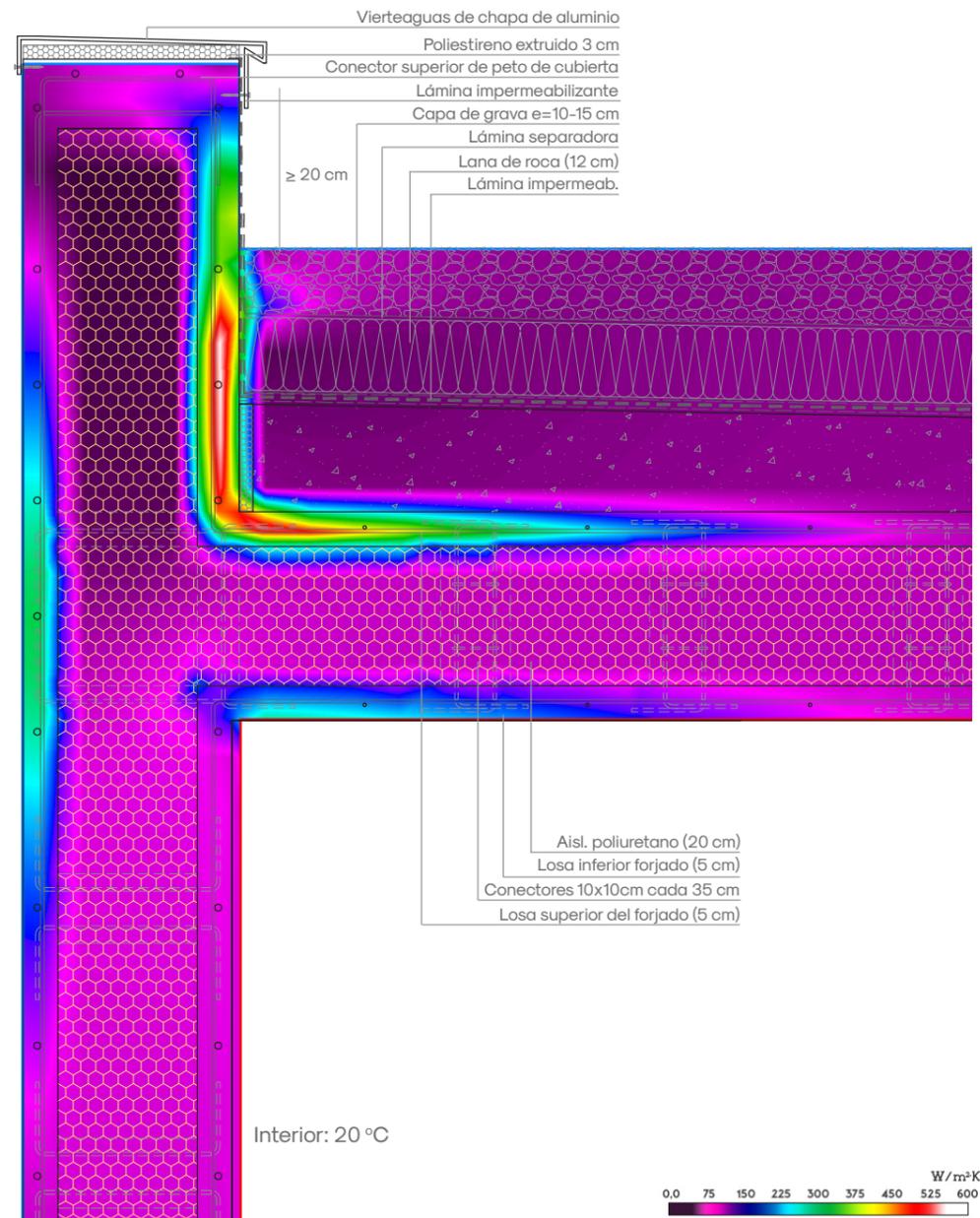
En fachada se rellena con poliuretano rígido, y se impermeabiliza por el exterior hasta la altura establecida. Se opta por esta solución para que el impermeabilizante no se vea interrumpido por los conectores.

CASO 2: SISTEMA ELESDOPA

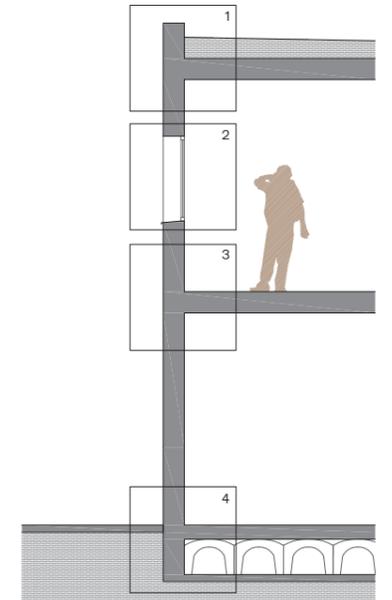
TERMOGRAFÍA DETALLE 1.1.



Detalle 1.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 1.1. Escala 1:10



Detalle 1.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 1.1. Escala 1:10

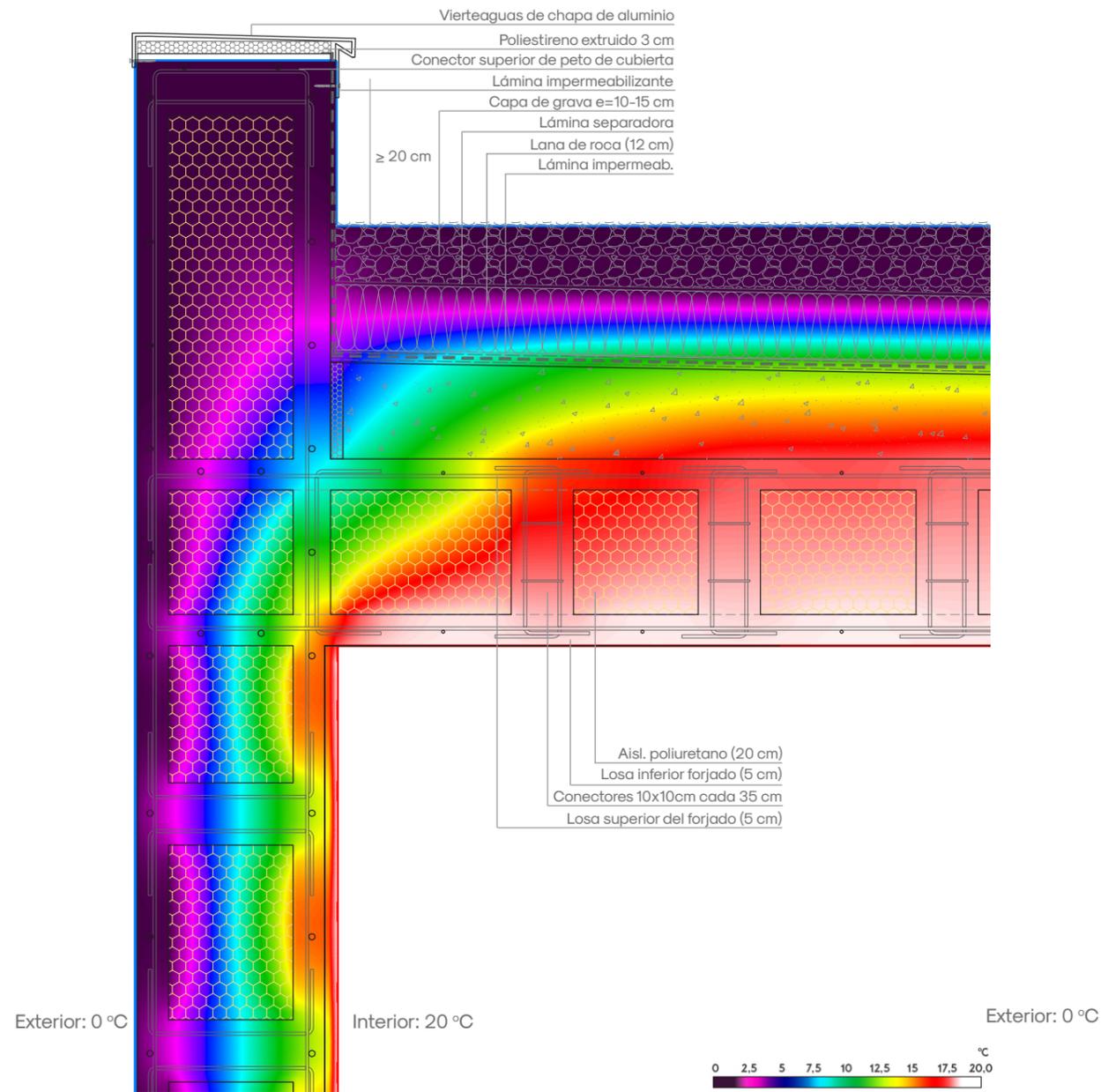


Observaciones:

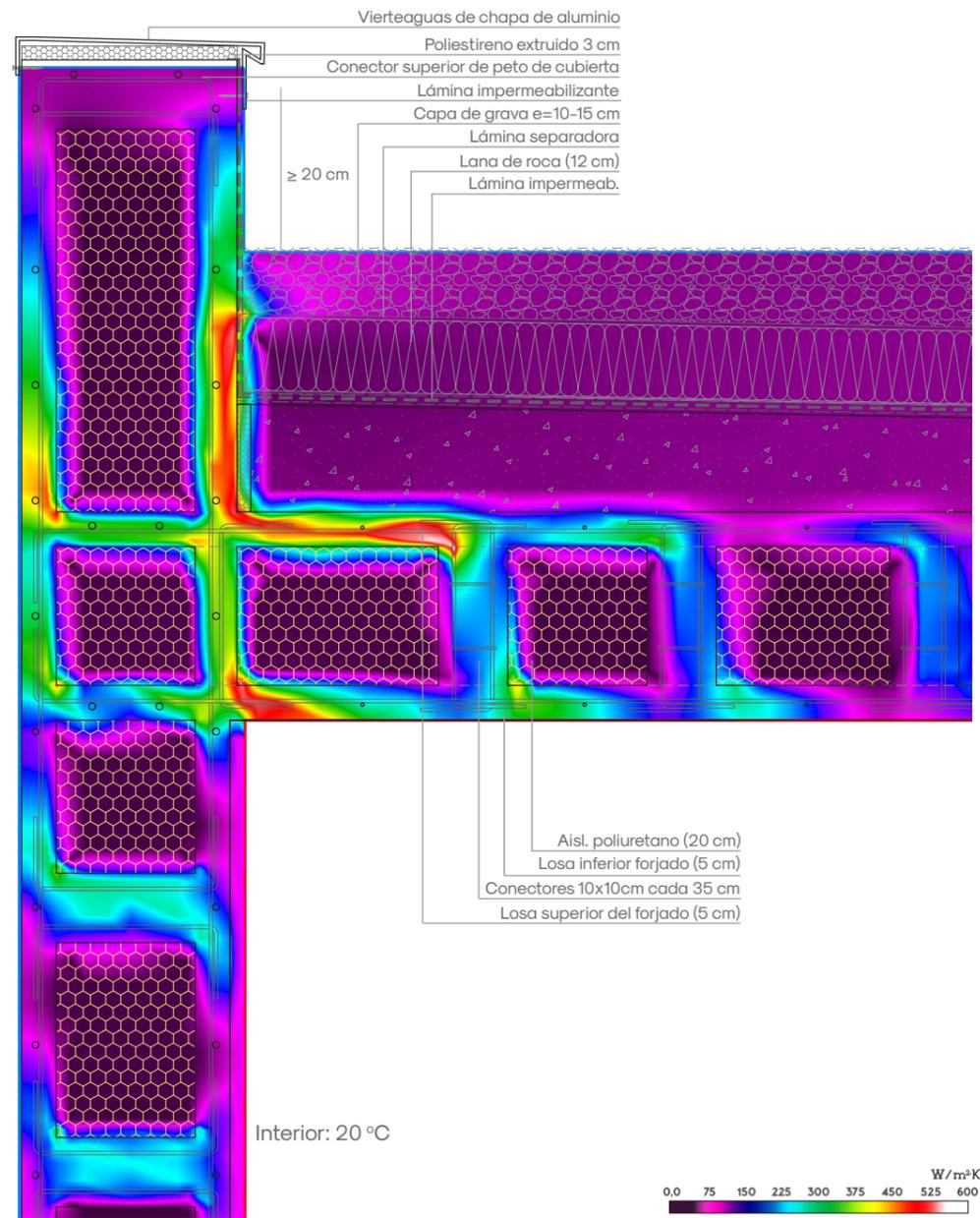
- El aislamiento térmico es muy bueno (gran espesor de poliuretano).
- Salvo en los conectores, ausencia total de puentes térmicos. Flujo de calor interior- exterior muy bajo.
- El aislamiento de cubierta amortigua el cambio de temperatura entre el exterior y el forjado Elesdopa.
- Exste un pequeño puente térmico a través de cara exterior de hormigón, aunque no llega al interior de la vivienda.

CASO 2: SISTEMA ELESDOPA

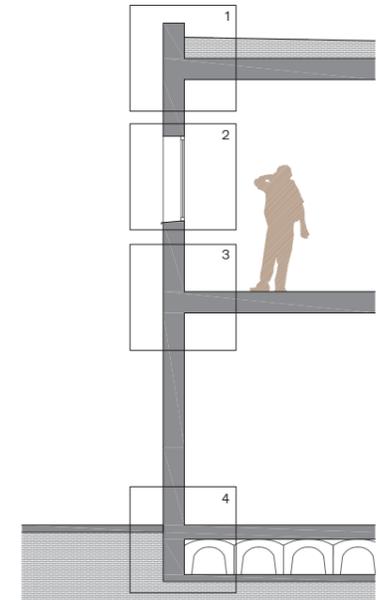
TERMOGRAFÍA DETALLE 1.2.



Detalle 1.3.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 1.2.
Escala 1:10



Detalle 1.4.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 1.2.
Escala 1:10

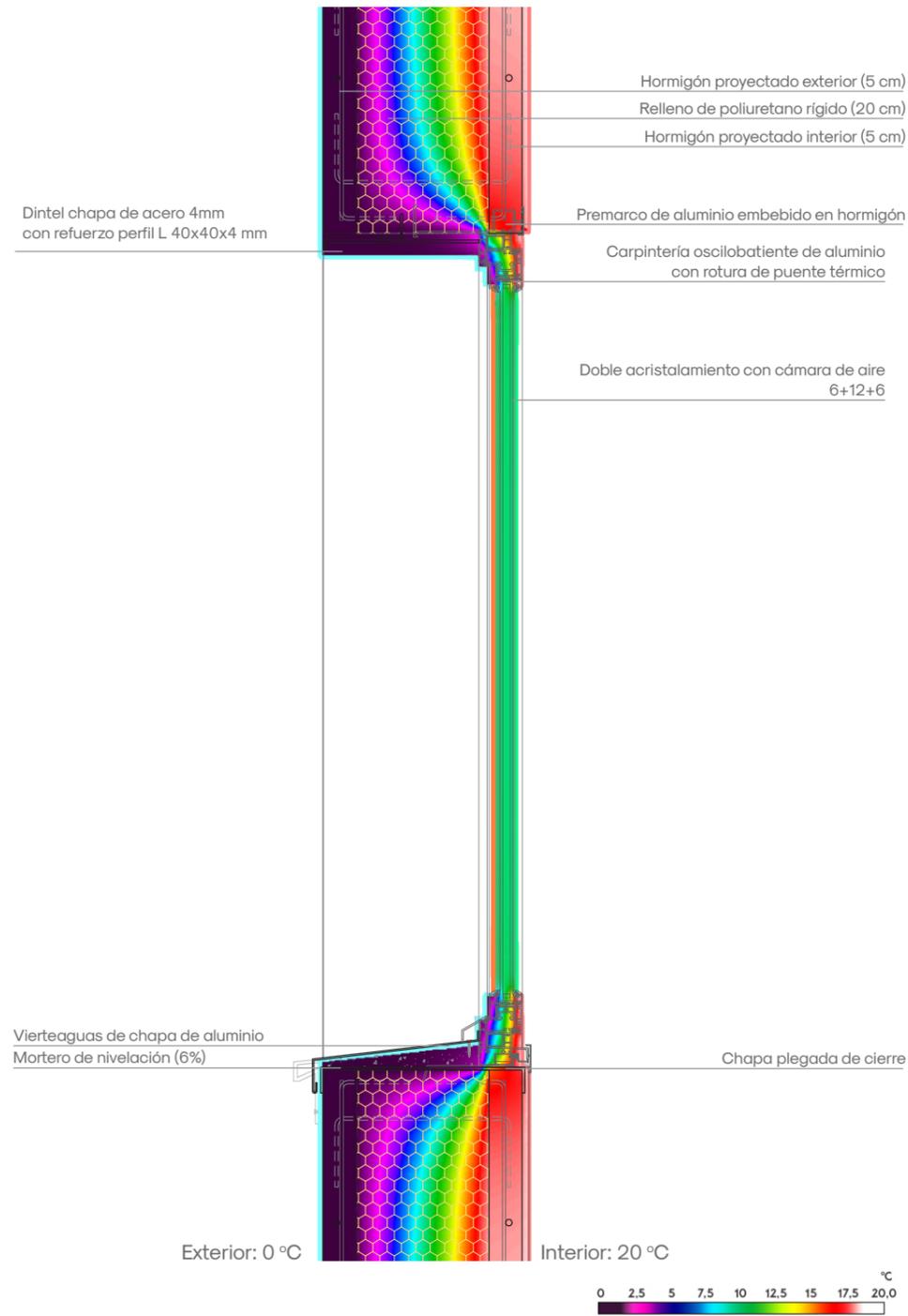


Observaciones:

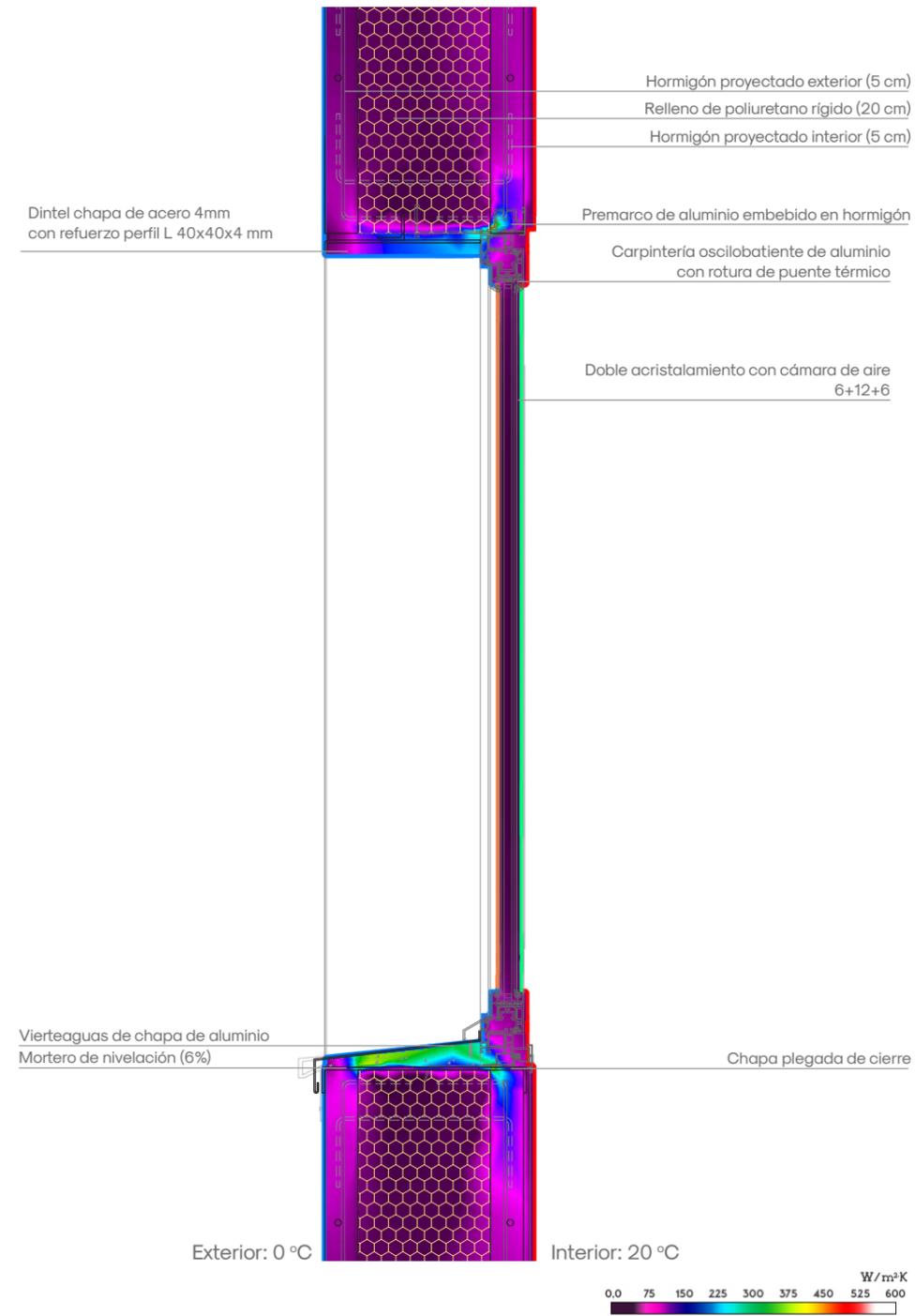
- Los puentes térmicos a través de los conectores son constantes en toda la fachada y cubierta.
- El encuentro entre la cubierta y el paramento vertical es donde más intensidad tiene el puente térmico.
- Aislamiento de cubierta amortigua el cambio de temperatura entre el exterior y el forjado Elesdopa.

CASO 2: SISTEMA ELESDDOPA

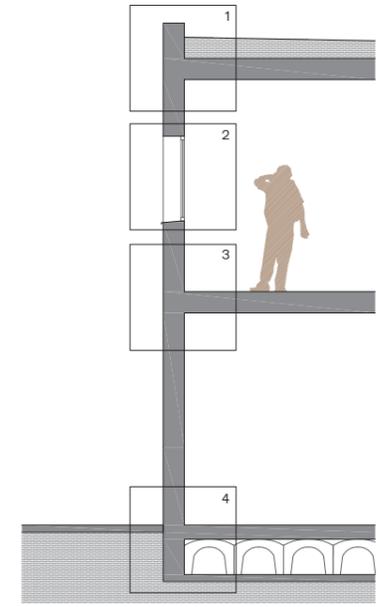
TERMOGRAFÍA DETALLE 2.1.



Detalle 2.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 2.1. Escala 1:10

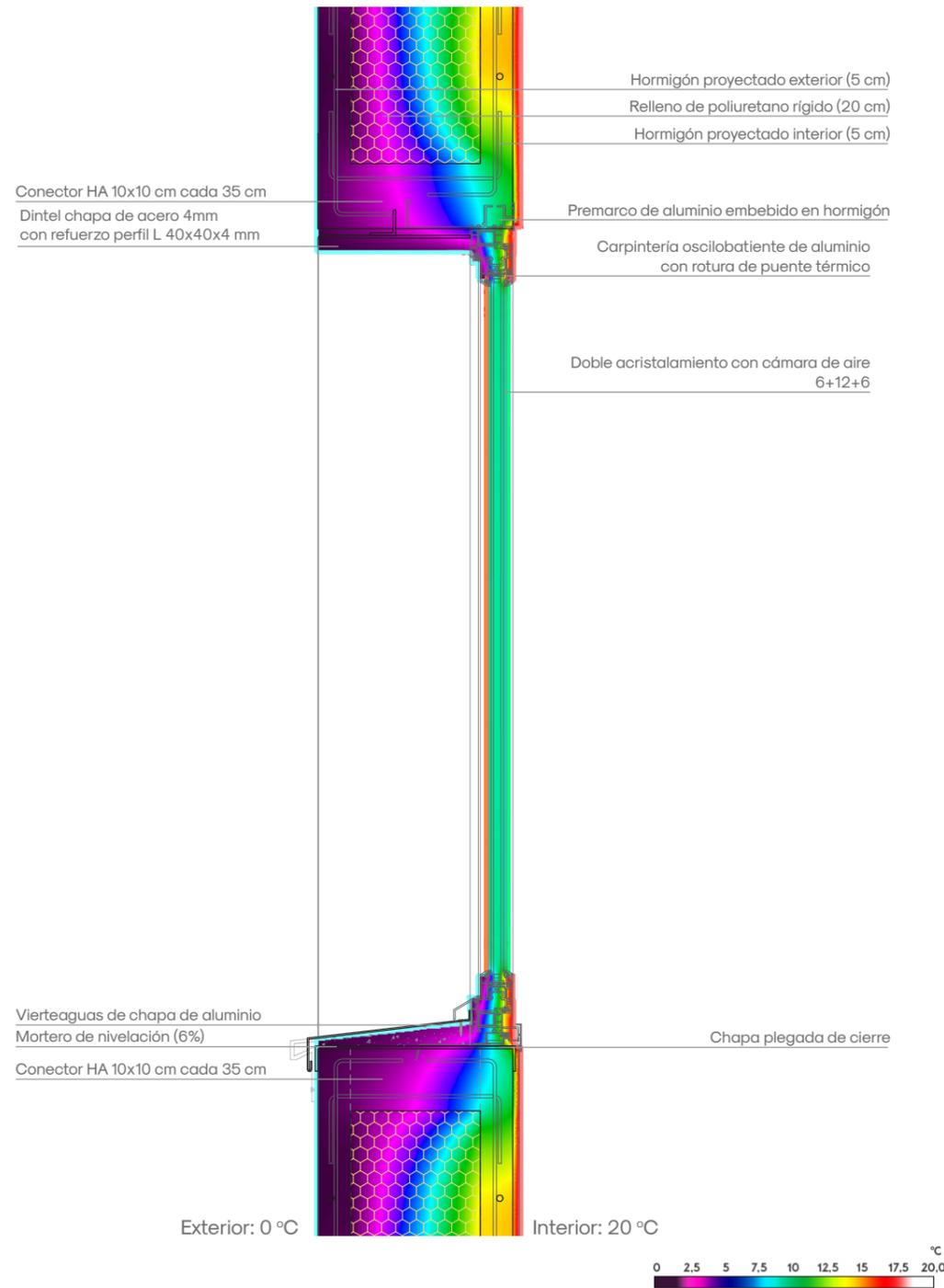


Detalle 2.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 2.1. Escala 1:10

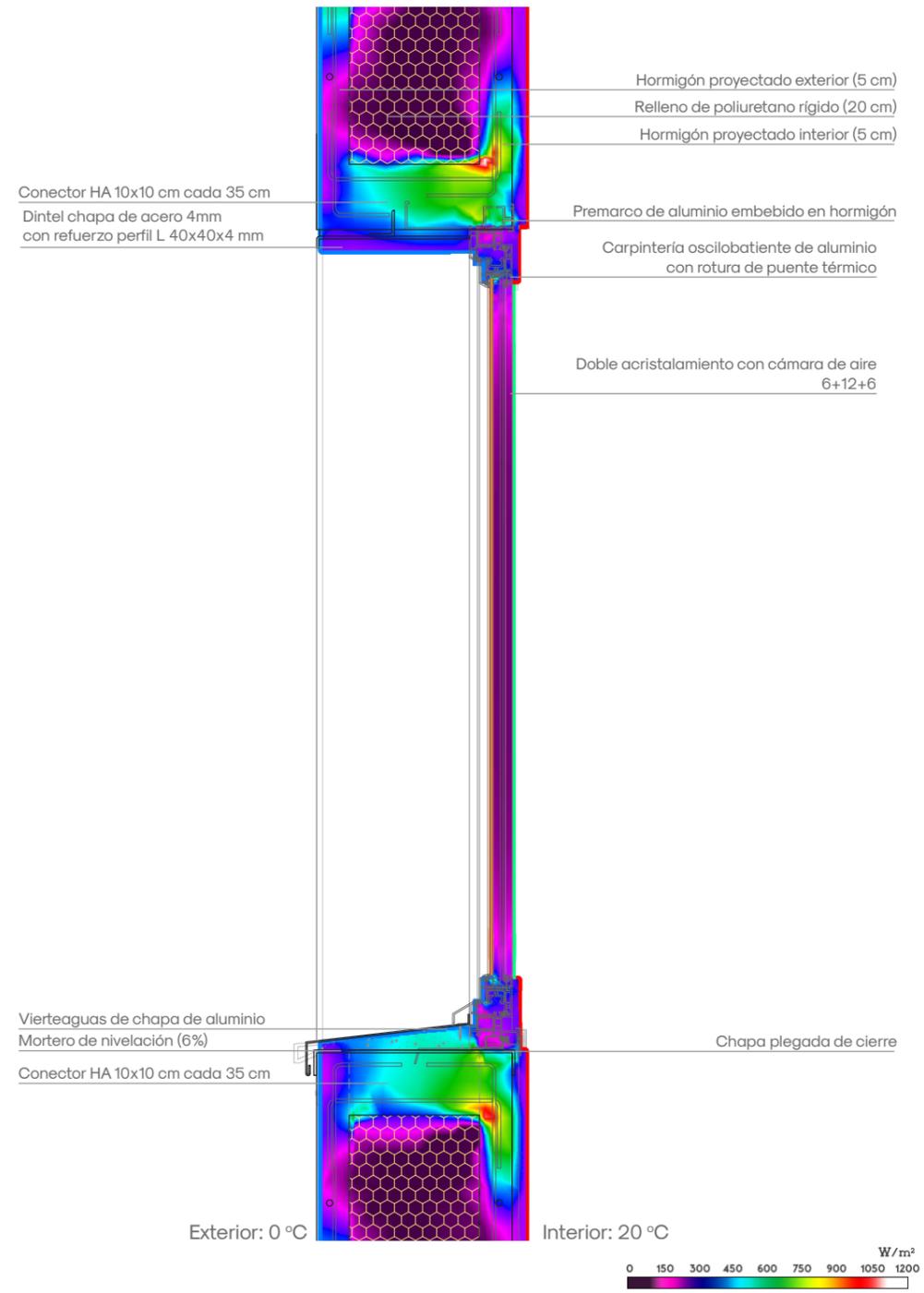


CASO 2: SISTEMA ELESDOPA

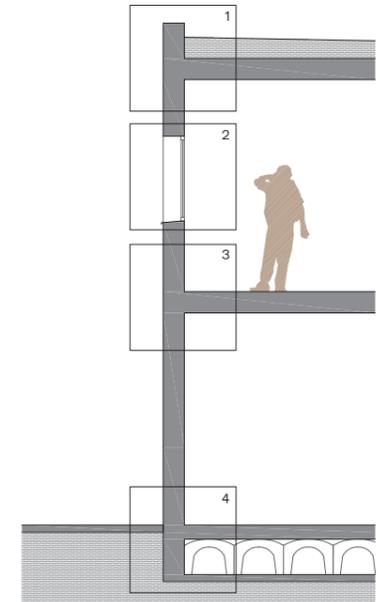
TERMOGRAFÍA DETALLE 2.2.



Detalle 2.3.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 2.2.
Escala 1:10



Detalle 2.4.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 2.2.
Escala 1:10

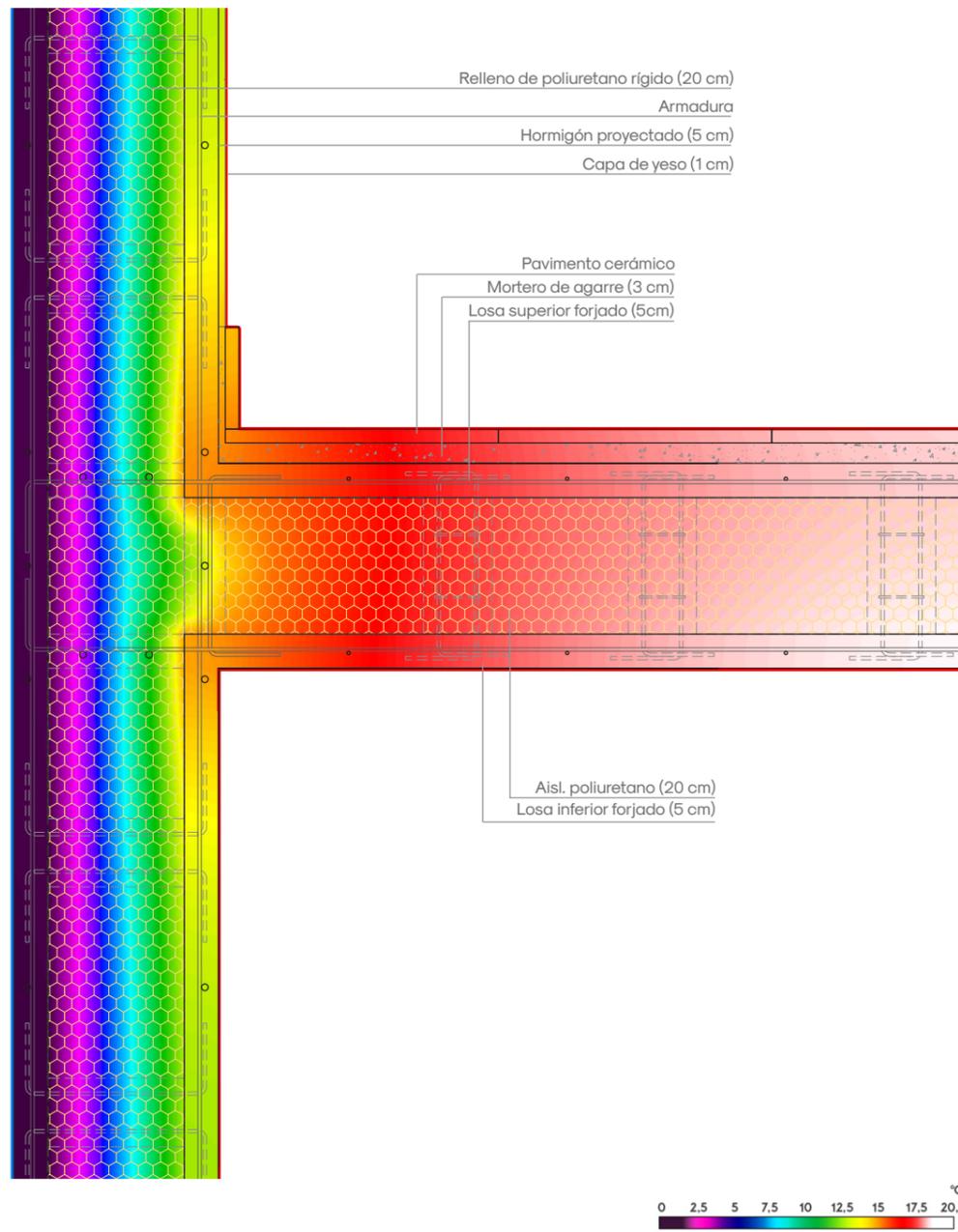


Observaciones:

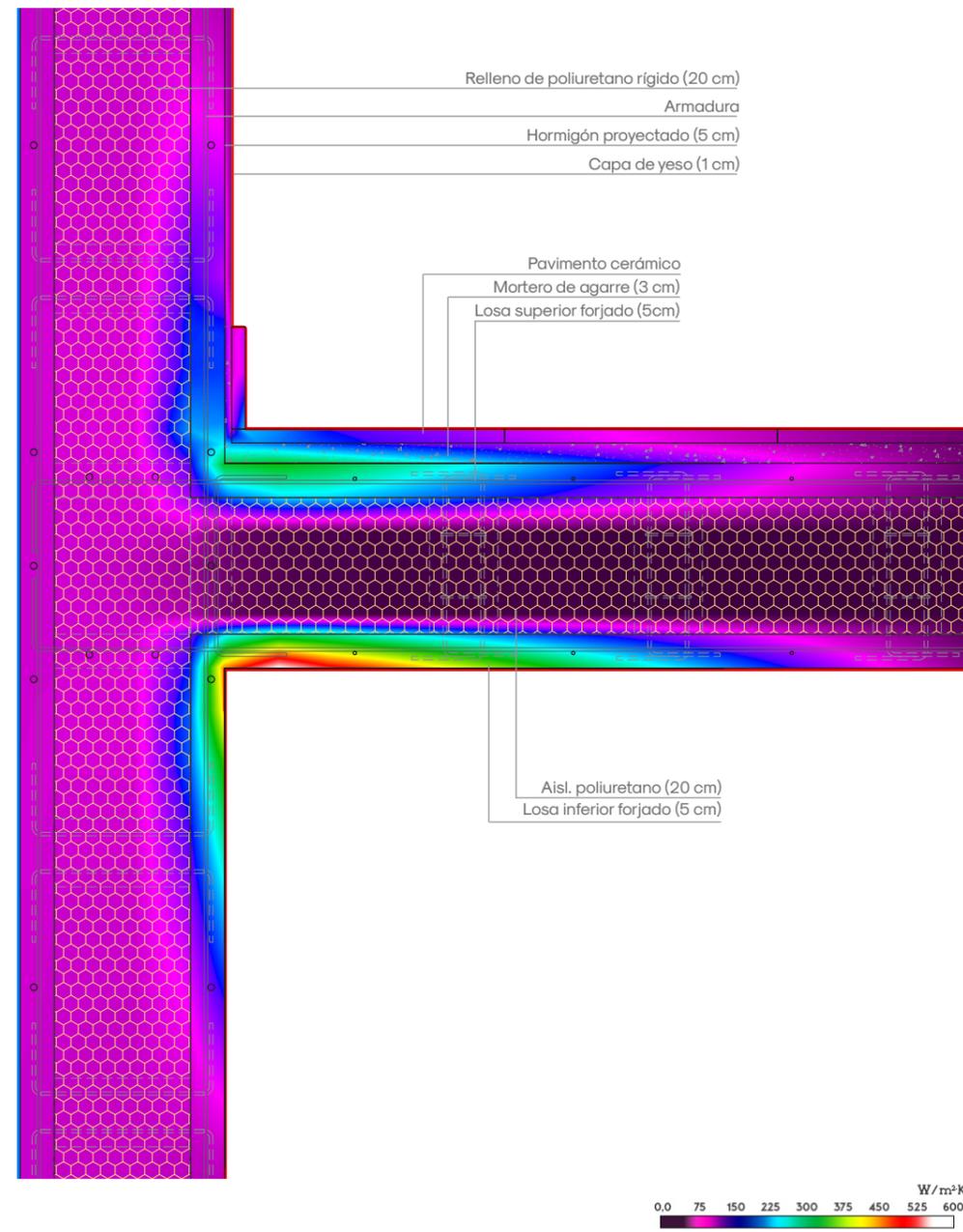
- El alféizar se compone de una chapa plegada que va apoyada a los conectores de la fachada. Por tanto, aunque no sea continuo, tiene claros puentes térmicos puntuales por debajo de la carpintería. La chapa también lo es, aunque muy reducido.
- En el dintel del hueco ocurre lo mismo que en el alféizar, pero con la chapa plegada de acero.
- Los 10-15 cm alrededor de la carpintería son puntos fríos.

CASO 2: SISTEMA ELESDDOPA

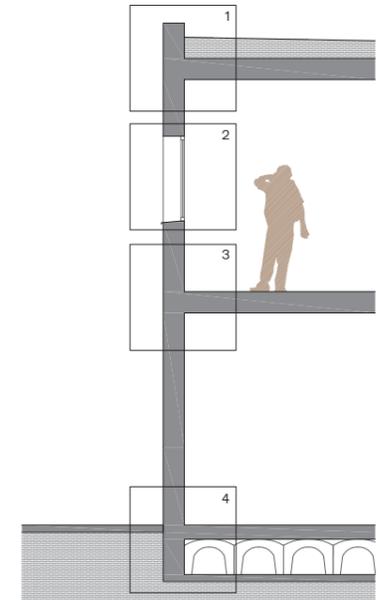
TERMOGRAFÍA DETALLE 3.1.



Detalle 3.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 3.1.
Escala 1:10



Detalle 3.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 3.1.
Escala 1:10



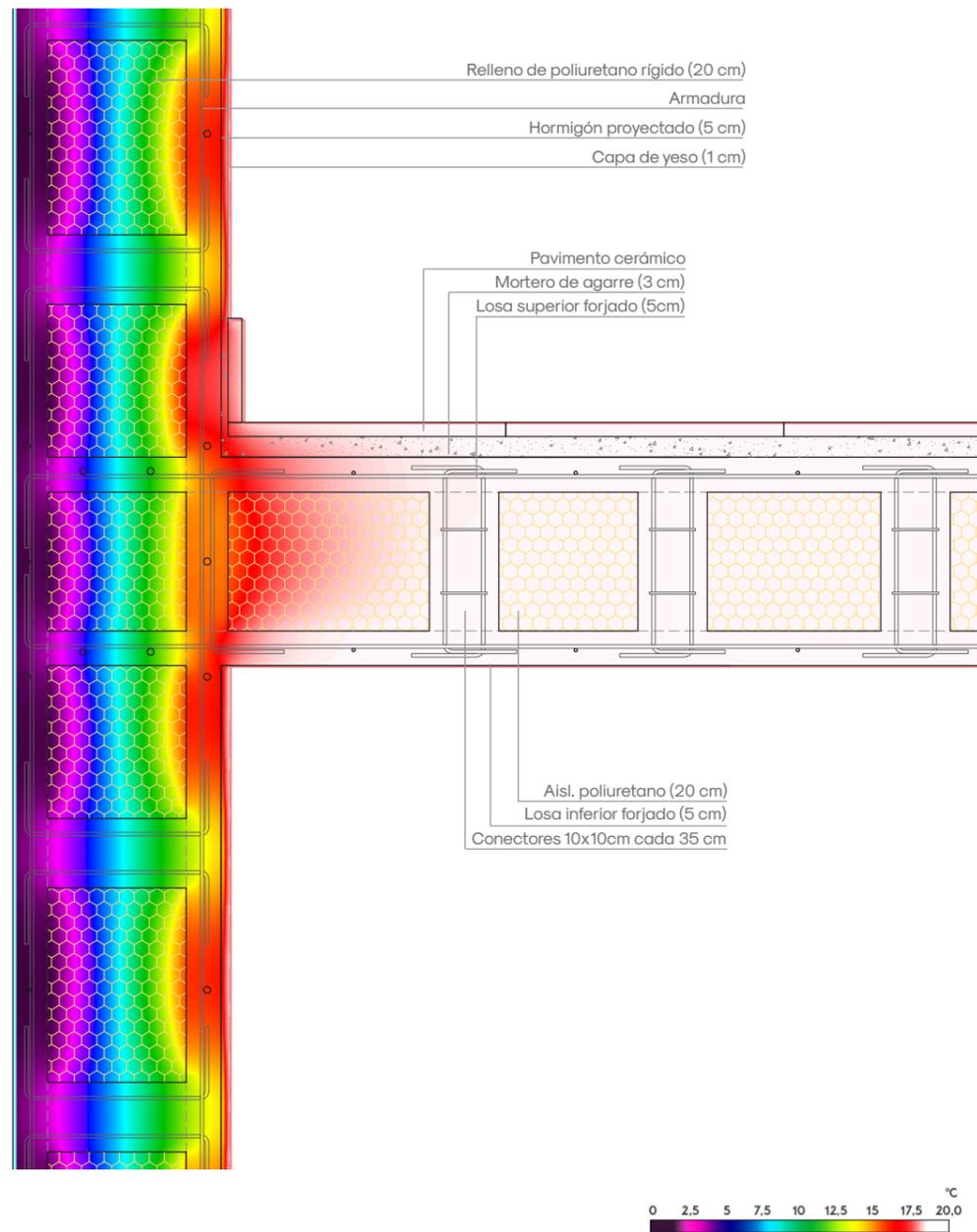
Observaciones:

- La transmitancia térmica en el cerramiento en los lugares donde no hay conectores es muy baja, y hay un aislamiento casi perfecto.

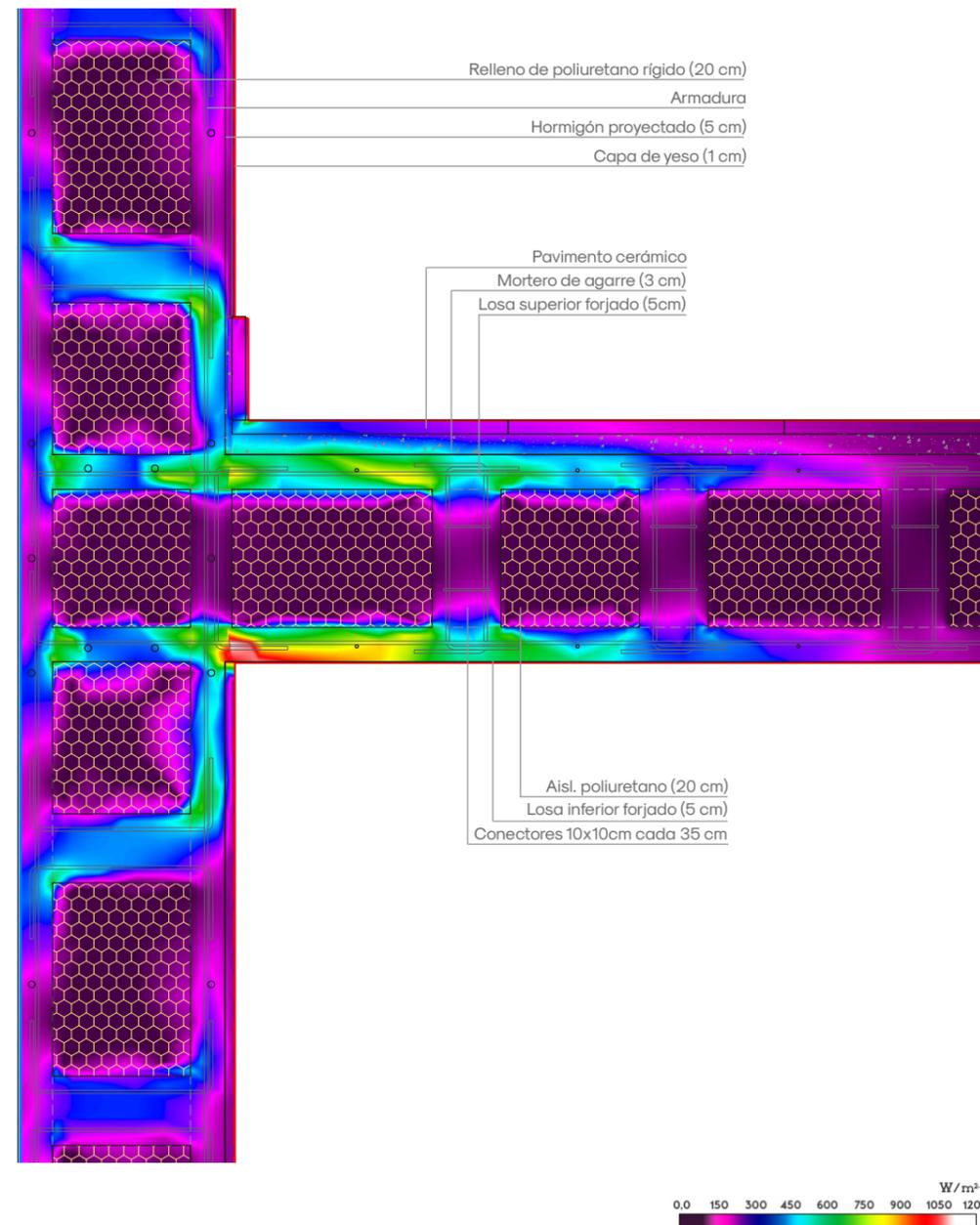
- Hay que tener en cuenta los pilares, que no aparecen seccionados en este detalle. Son macizos y están en contacto directo con el exterior. Tanto los pilares de esquina como los intermedios son importantes conductores de calor.

CASO 2: SISTEMA ELESDOPA

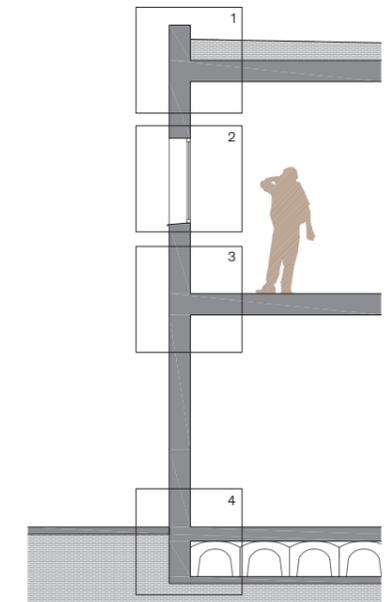
TERMOGRAFÍA DETALLE 3.2.



Detalle 3.3.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 3.2. Escala 1:10



Detalle 3.4.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 3.2. Escala 1:10



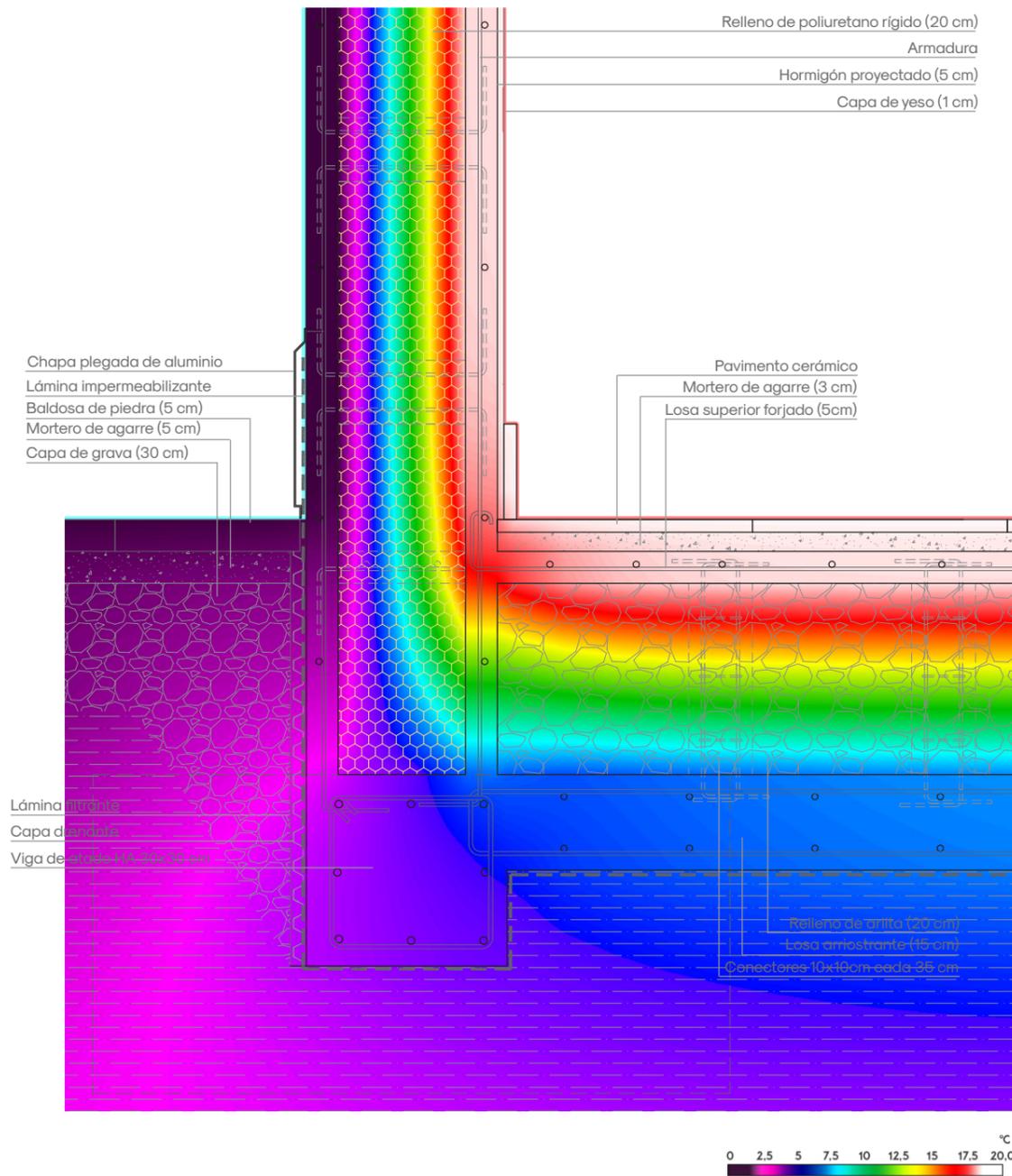
Observaciones:

- Aunque no hay un puente térmico tan intenso en el encuentro del forjado, sí que hay pequeños puentes térmicos.

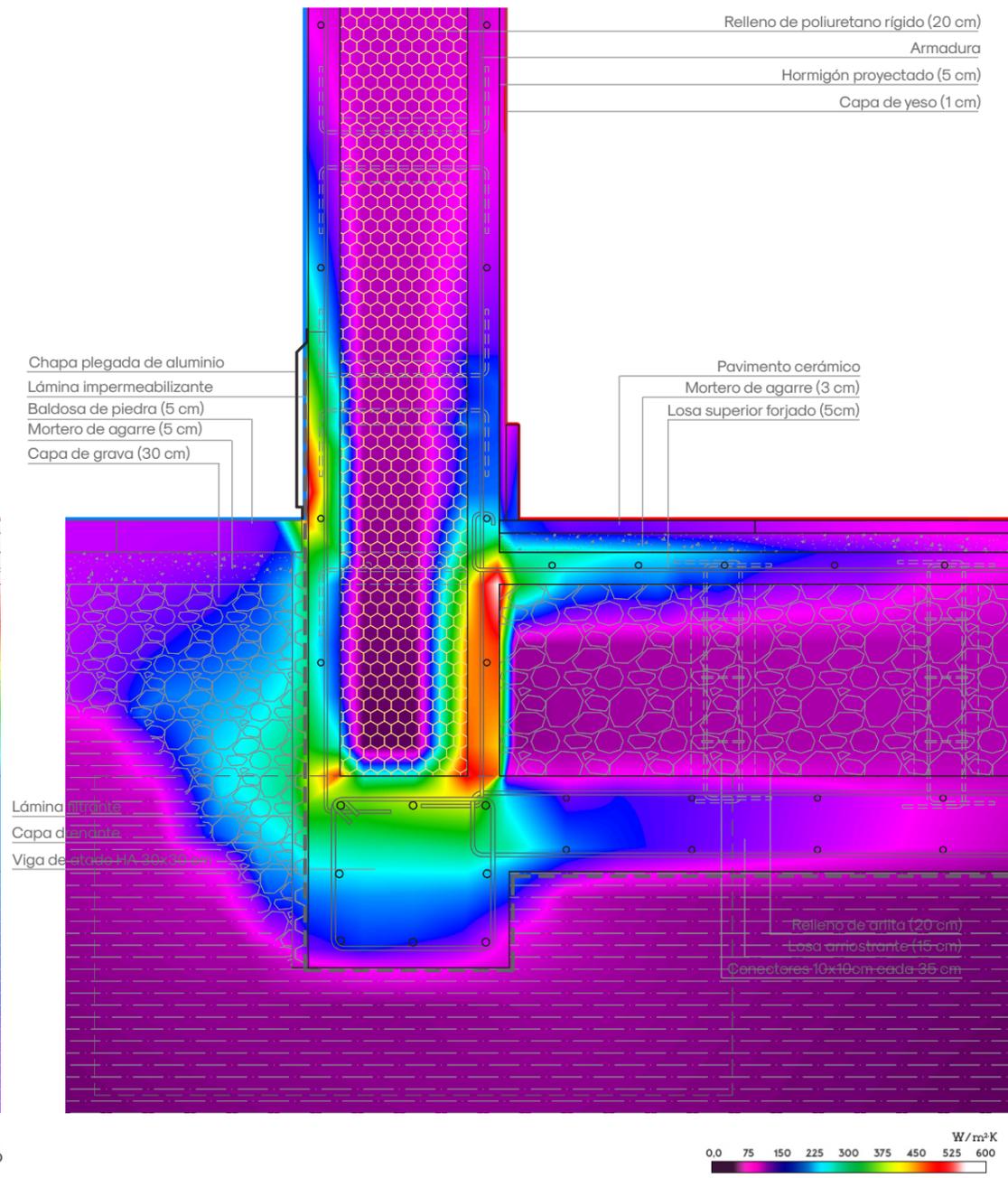
- Los conectores en el forjado intermedio no se tienen en cuenta como puentes térmicos, puesto que están a la misma temperatura a ambos lados. Sin embargo, son un punto de flujo de calor, y eso hay que tenerlo en cuenta, por ejemplo, en la factura de calefacción de cada vivienda. No hay independencia térmica entre plantas.

CASO 2: SISTEMA ELESDOPA

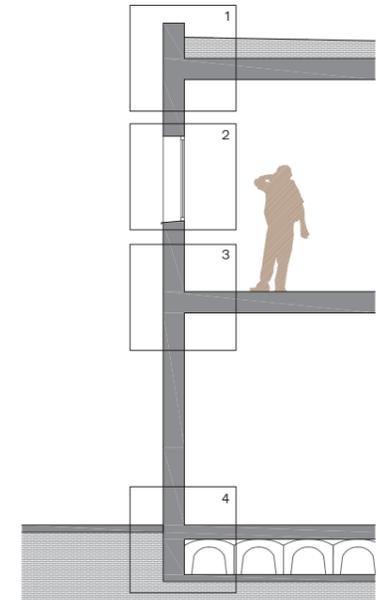
TERMOGRAFÍA DETALLE 4.1.



Detalle 4.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 4.1.
Escala 1:10



Detalle 4.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 4.1.
Escala 1:10



Observaciones:

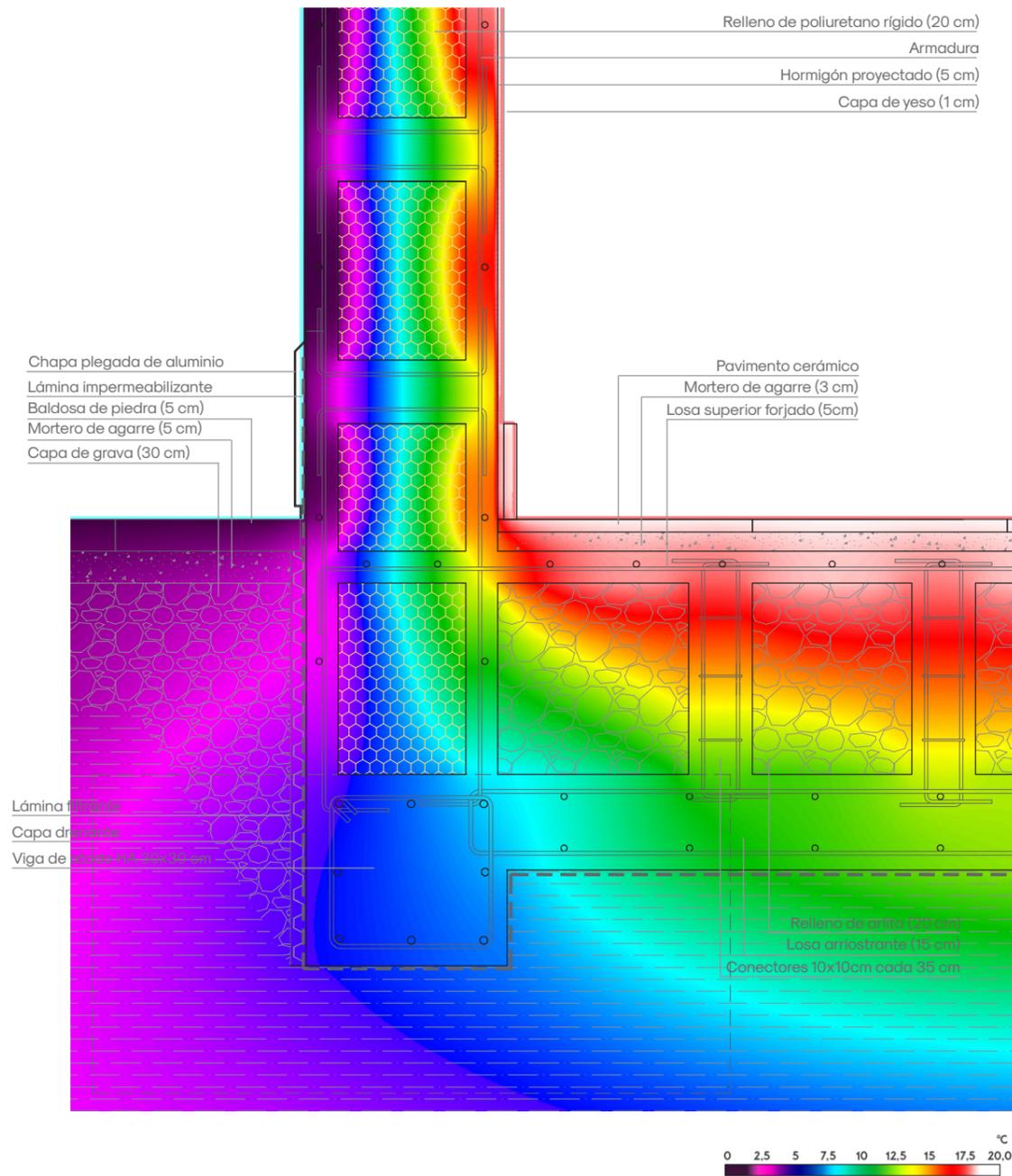
- El calor tiene un flujo constante en el final de la fachada, puesto que tiene que apoyar. El recorrido del puente térmico no es inmediato, pero la simulación térmica lo refleja.

- El hormigón armado ($U=2,1$ $W/m\cdot K$) no es un buen aislante térmico.

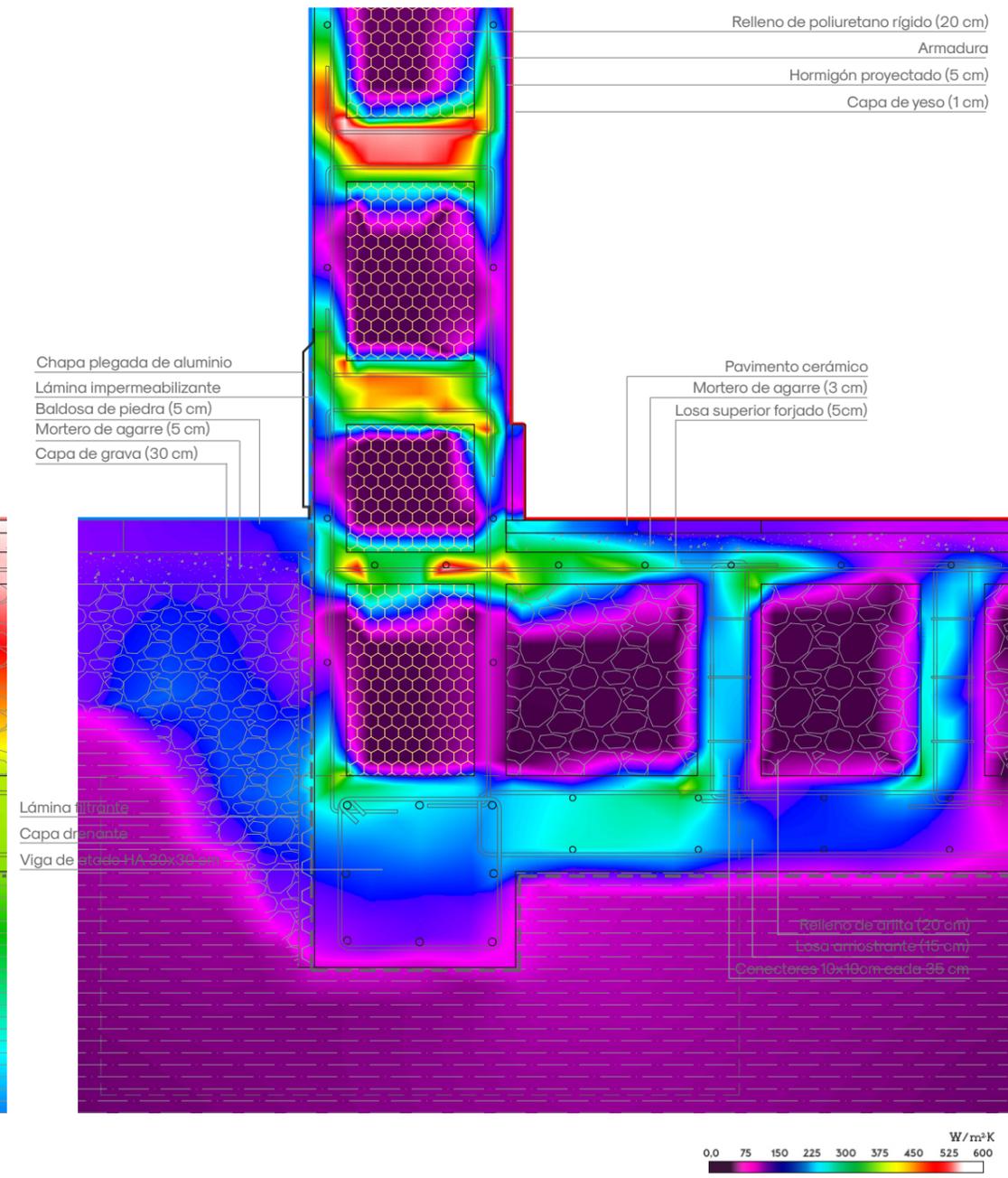
- La cámara de aire, además de para evitar infiltraciones y humedades del terreno, sirve como aislamiento térmico. En este caso, es un relleno de arlita con huecos de aire.

CASO 2: SISTEMA ELESDOPA

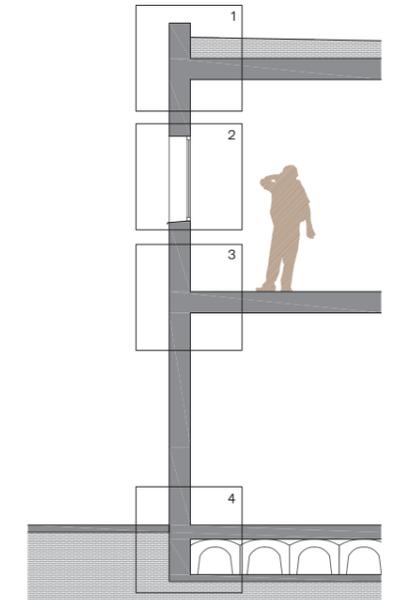
TERMOGRAFÍA DETALLE 4.2.



Detalle 4.3.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 4.2.
Escala 1:10



Detalle 4.4.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 4.2.
Escala 1:10



Observaciones:

- Los conectores que tienen mayor intensidad de flujo de calor son los que están al aire libre, puesto que los que están en la cimentación tienen una temperatura más suave debido al terreno.

- La temperatura en la cara interior de la fachada varía unos pocos grados en el espacio de centímetros, y no es uniforme como en las secciones sin conectores.

CASO 3: SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR

UNA ENVOLVENTE CONTINUA

El sistema de aislamiento térmico exterior (SATE) consiste en aquellos sistemas de envolvente que mantienen la capa del material de aislamiento térmico sin interrupción por la capa exterior, de tal forma que no se ve interrumpida por los forjados y pilares como sí ocurre en una capuchina convencional. Por tanto, estamos hablando de un sistema sin apenas puentes térmicos, condición fundamental del modelo de edificación Passivhaus.

Los sistemas de fachada SATE son de muchos tipos y acabados, ya sea con un mortero de acabado exterior, un aplacado con su estructura portante, etc. Las casas comerciales ofrecen una amplia gama de sistemas, cada uno con sus acabados y especificaciones.

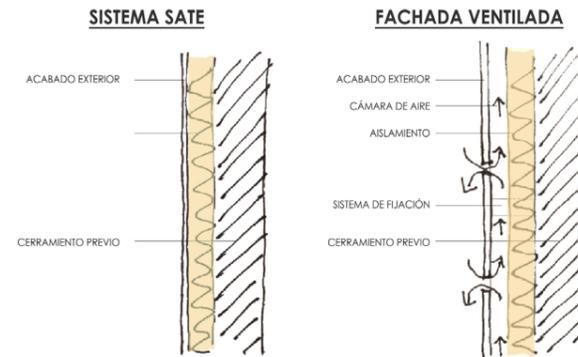
Por lo general, el sistema SATE está compuesto de:

- Acabado exterior impermeable, bien con un mortero especial de exteriores y malla de fibra de vidrio, o un aplacado y sus anclajes a los perfiles metálicos. Deben mantenerse estancos al agua para proteger el aislamiento.
- Aislamiento de planchas de EPS (poliestireno expandido) o lana mineral en el grosor elegido de 6-15 cm.
- Anclaje de las planchas de aislamiento a través de elementos de fijación como adhesivos o espigas de fijación mecánica.
- Elemento rígido de soporte, normalmente de ladrillo cerámico o perfilaría metálica atornillada a los elementos estructurales.
- Acabado interior mediante paneles de yeso laminado o directamente sobre la hoja de ladrillo.

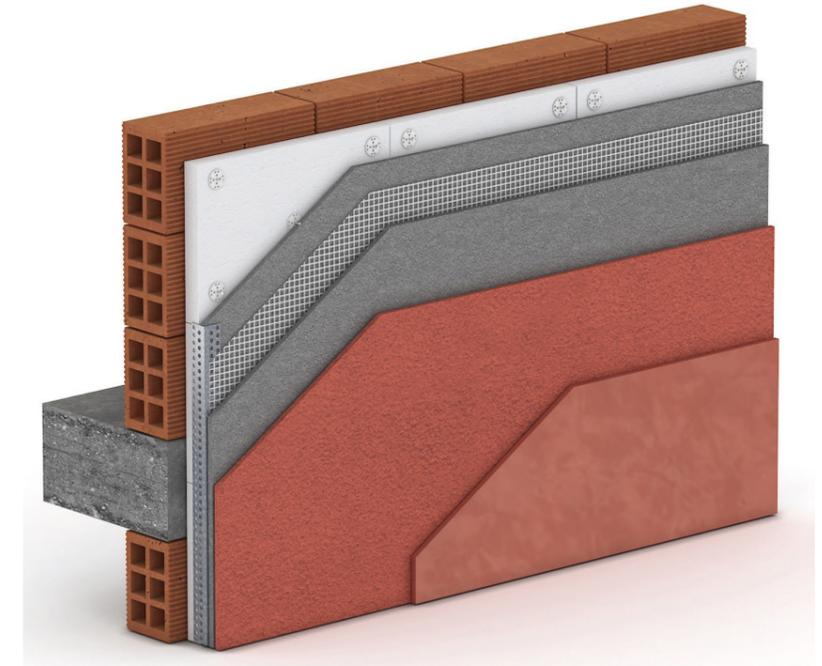
Además de estos elementos, se pueden añadir otros según la oferta de cada casa comercial, bien con el elemento de acabado exterior, añadiendo cámara de aire ventilada, etc. El sistema SATE se puede emplear tanto en obra nueva como en rehabilitación.

EL SISTEMA SATE Y LA FACHADA VENTILADA

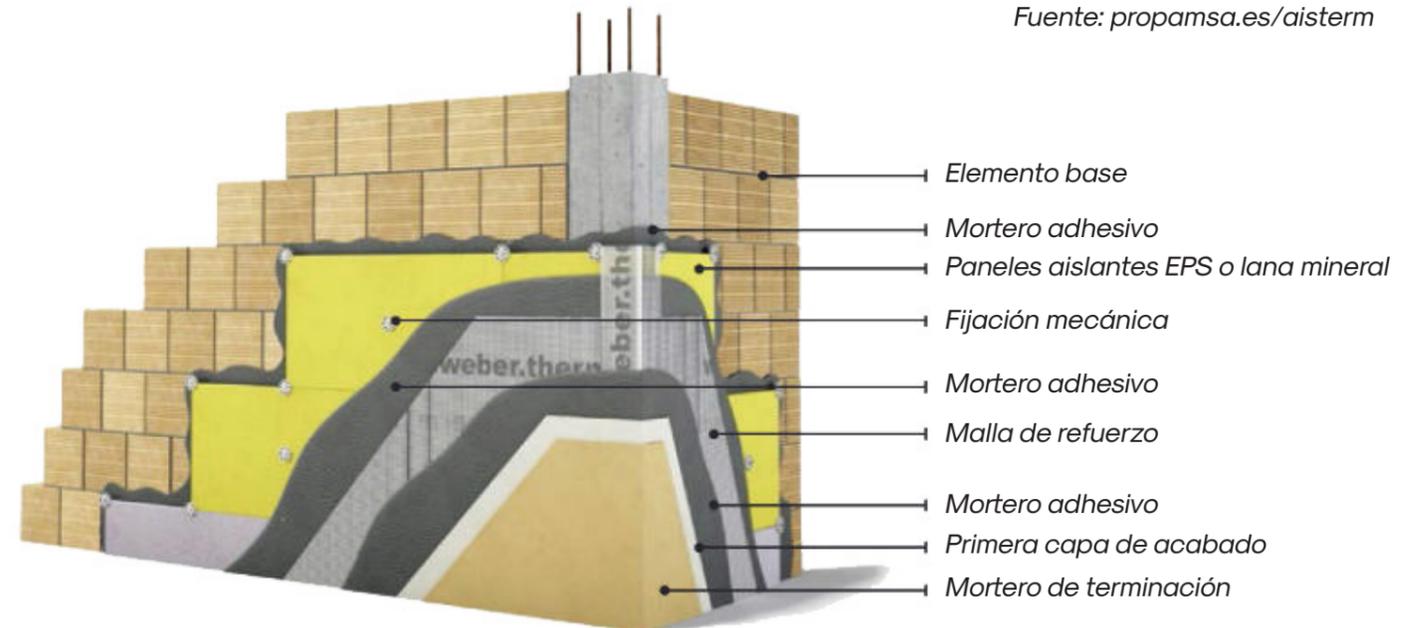
Estos dos sistemas de cerramiento tienen gran parecido, principalmente porque parten del mismo concepto: Aislar por el exterior del elemento base y la estructura, cerrando casi todos los puentes térmicos posibles. La diferencia entre ambos es que la fachada ventilada tiene una cámara de aire que produce una barrera previa antes del aislamiento y amortigua los cambios de temperatura del exterior.



Fuente: iadfin.es



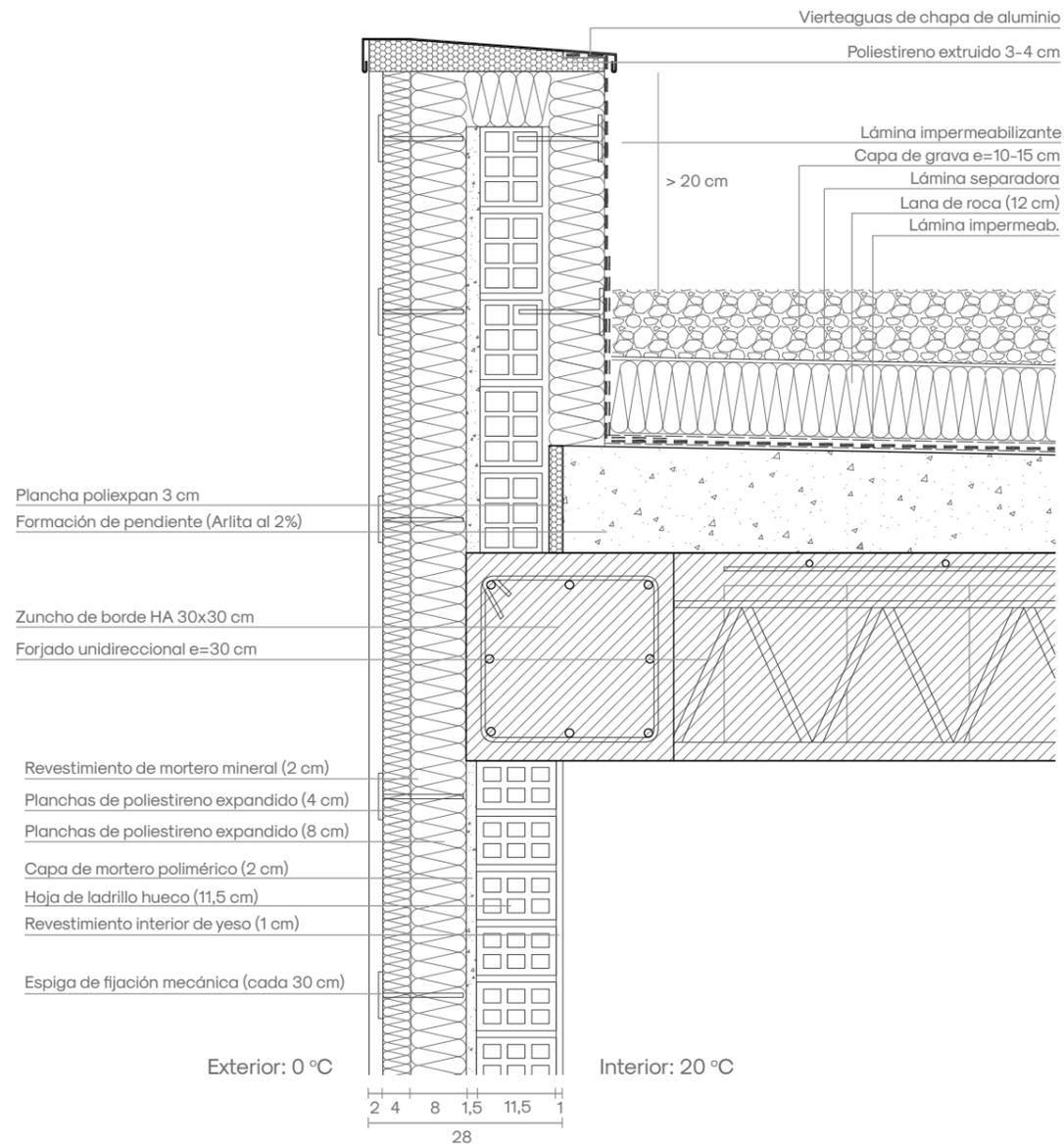
Cerramiento de SATE.
Fuente: propamsa.es/aisterm



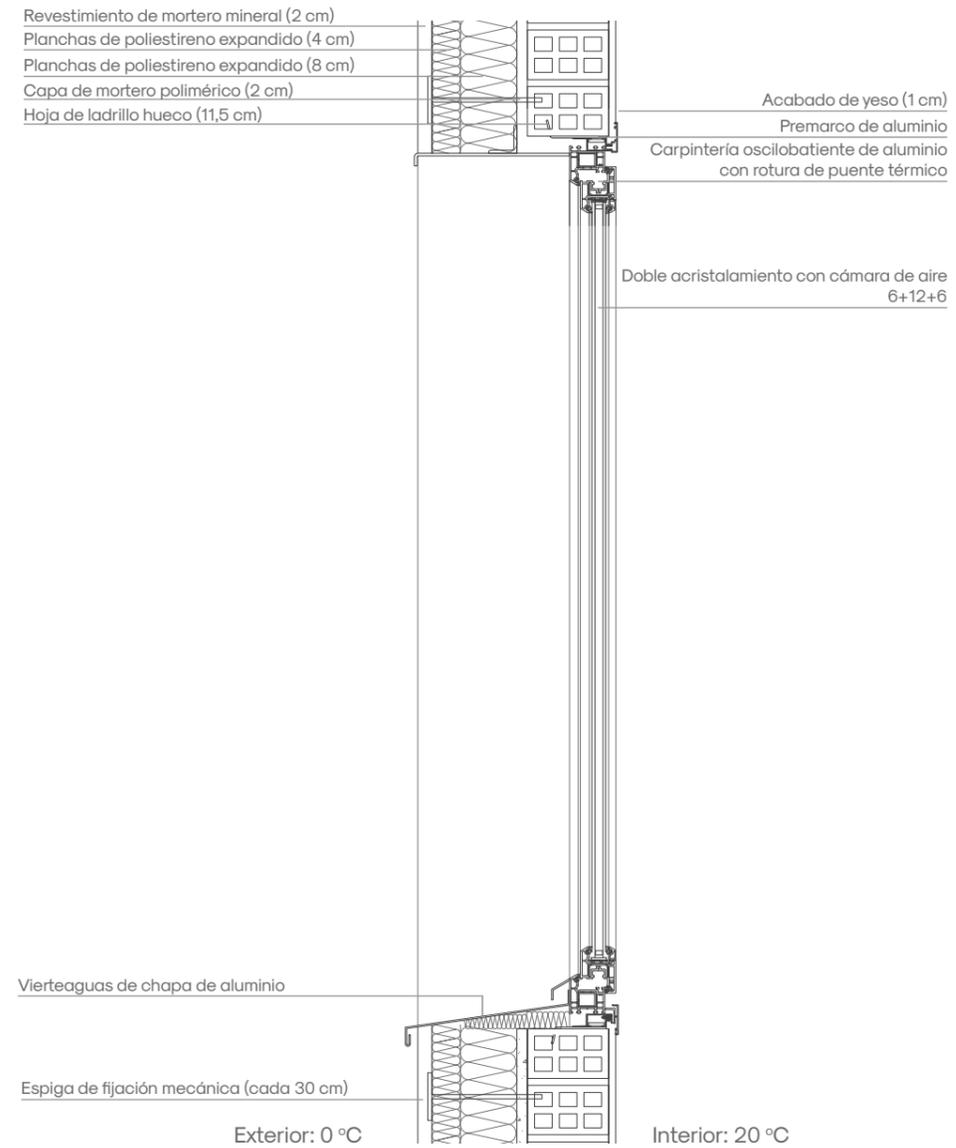
Cerramiento de SATE
Fuente: weber.es

CASO 3: SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR

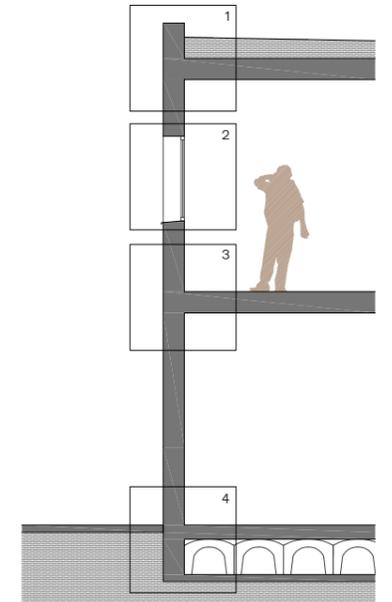
DETALLES 1 Y 2



Detalle 1: Encuentro de cubierta invertida no transitable y fachada de SATE
Escala 1:10



Detalle 2: Ventana practicable en fachada de SATE
Escala 1:10

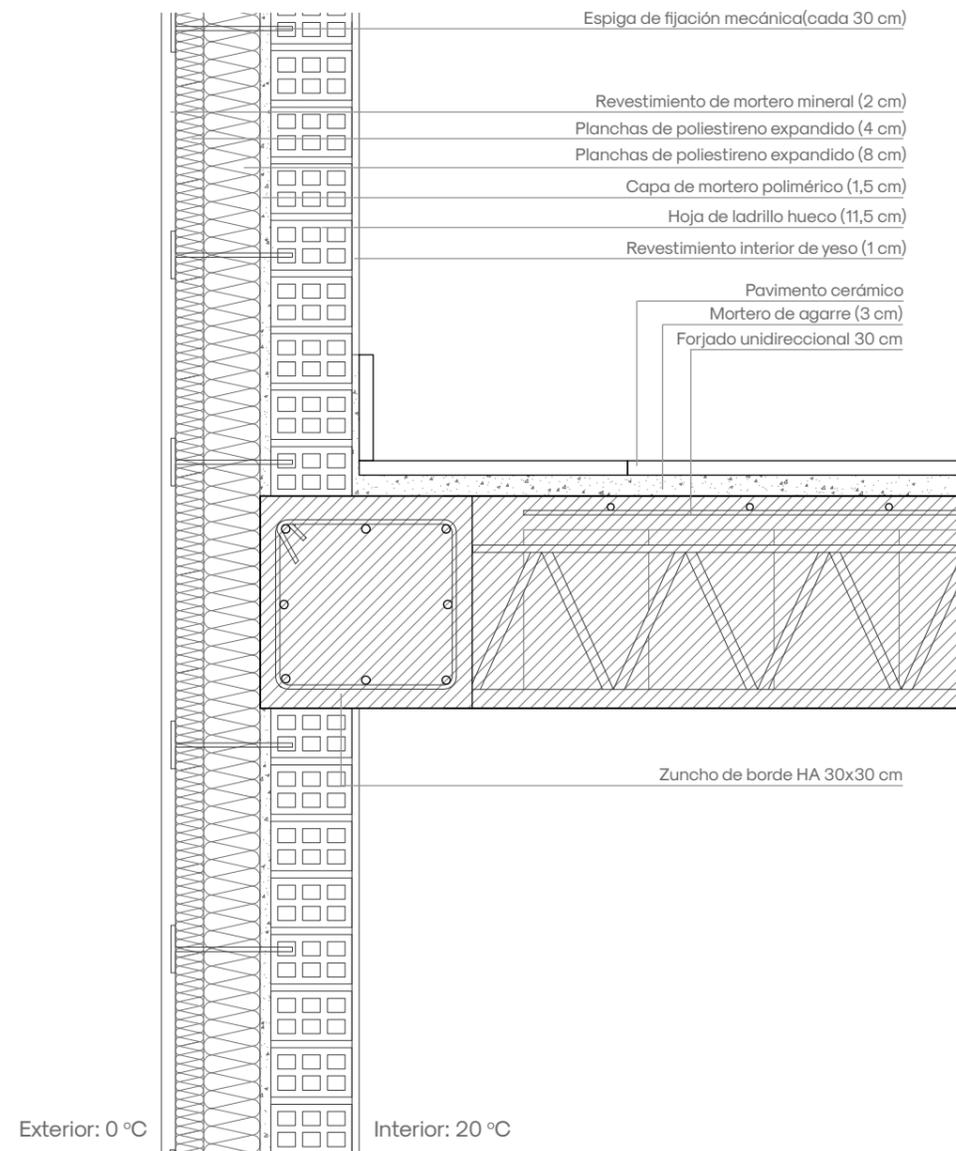


El aislamiento térmico exterior envuelve cualquier encuentro con la estructura que aparezca. Es, tanto para obra nueva como para rehabilitación (en caso que se pueda), la solución más eficaz para envolver el edificio.

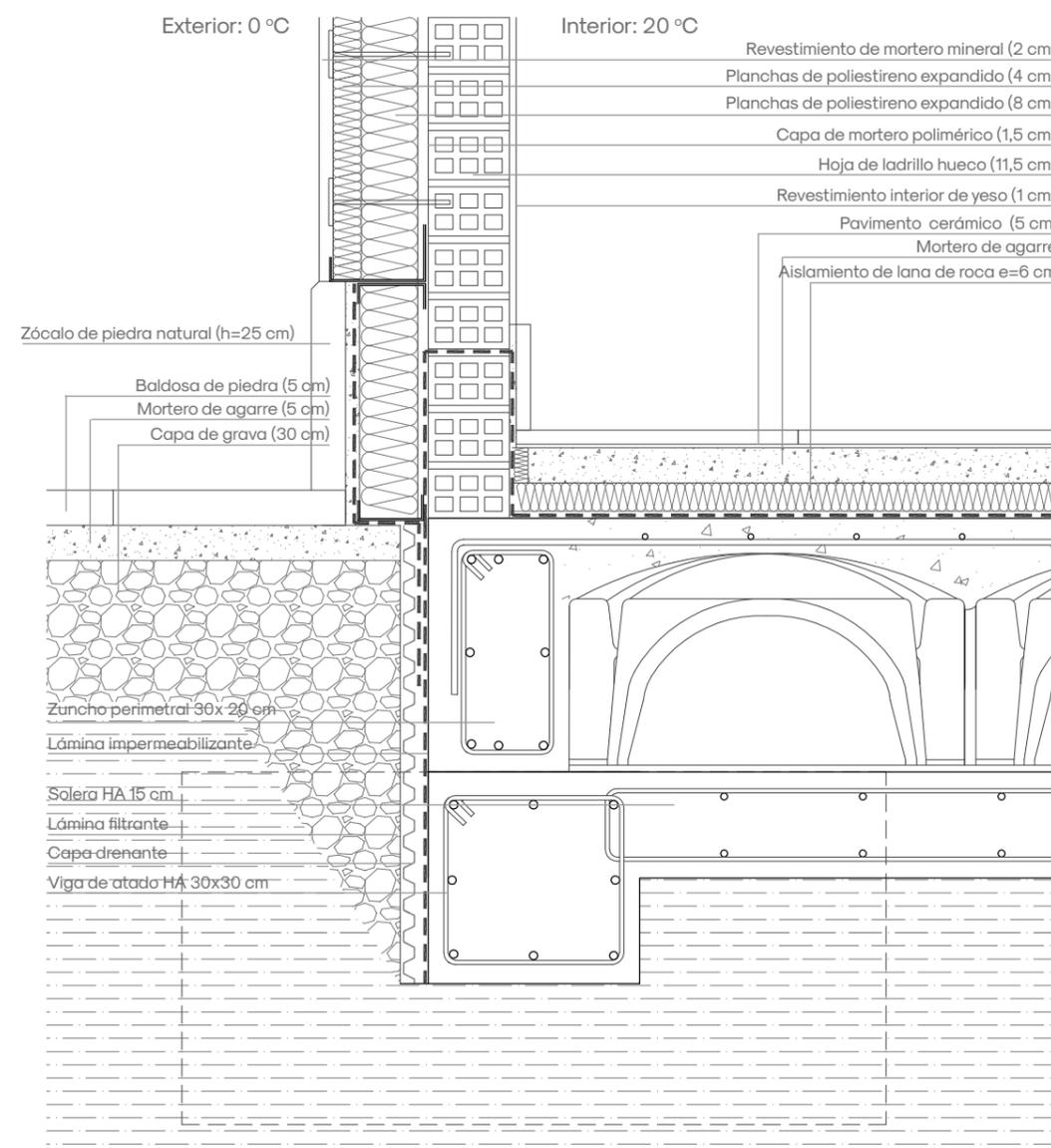
El material aislante va anclado mediante espigas de fijación a la hoja de ladrillo interior, que no supone puente térmico relevante. En cubierta se puede pegar el aislamiento por el pretil, siempre que este se proteja para su durabilidad.

CASO 3: SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR

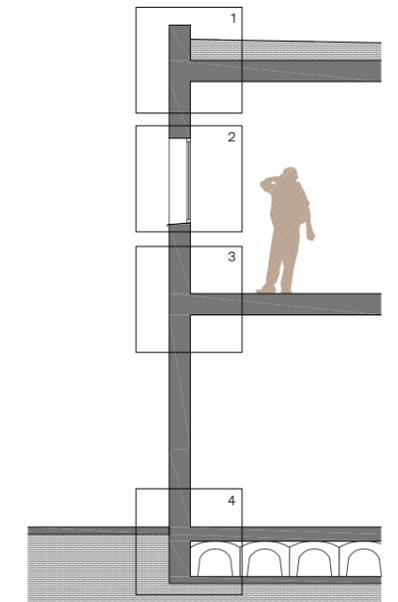
DETALLES 3 Y 4



Detalle 3: Encuentro de forjado intermedio con fachada de SATE
Escala 1:10



Detalle 4: Encuentro de fachada de SATE con el terreno y forjado antihumedad
Escala 1:10

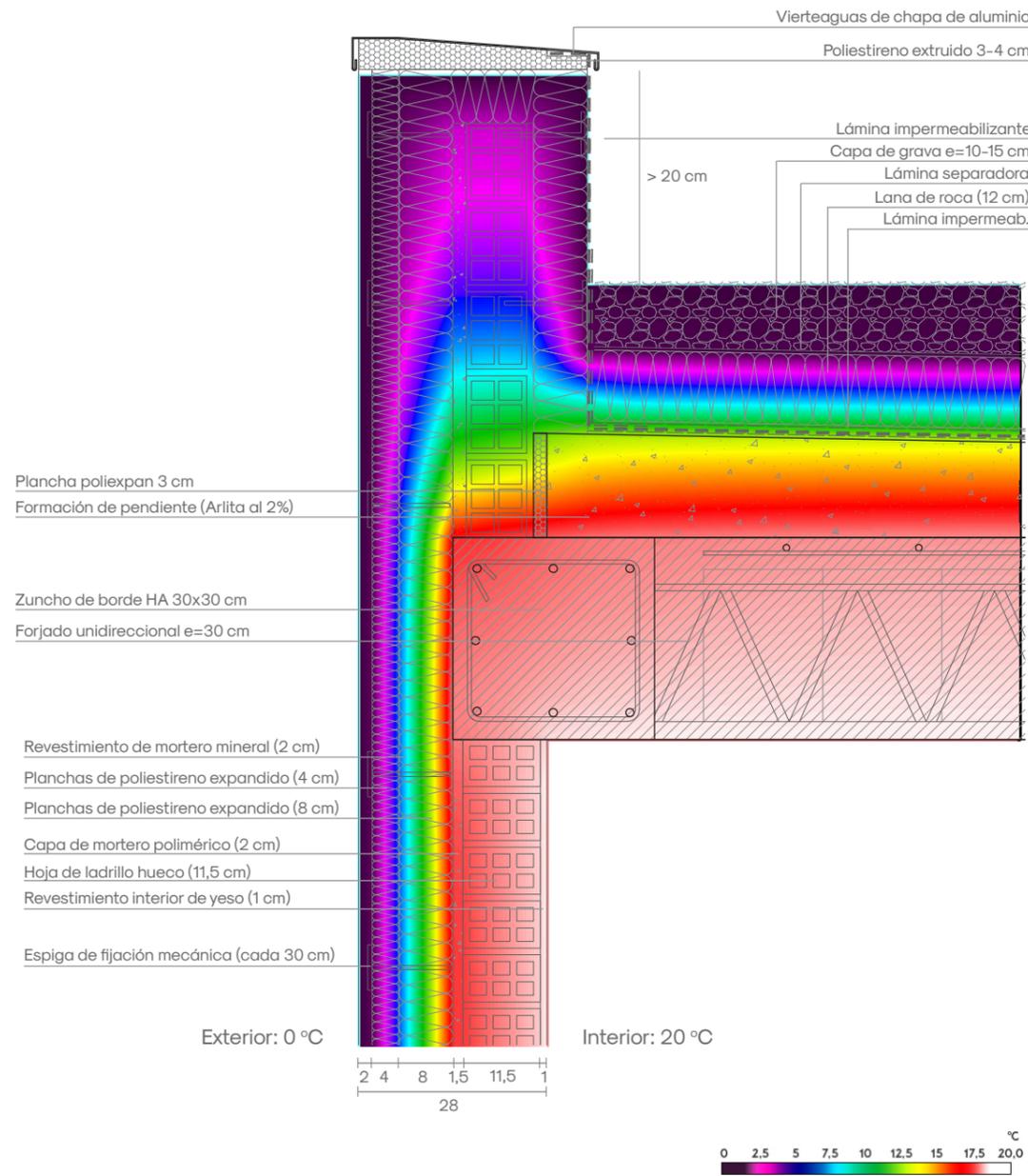


El aislante cubre la estructura intermedia sin verse interrumpida como en la capuchina. Este aislamiento se hace en el ejemplo con plantas machihembradas de poliestireno expandido.

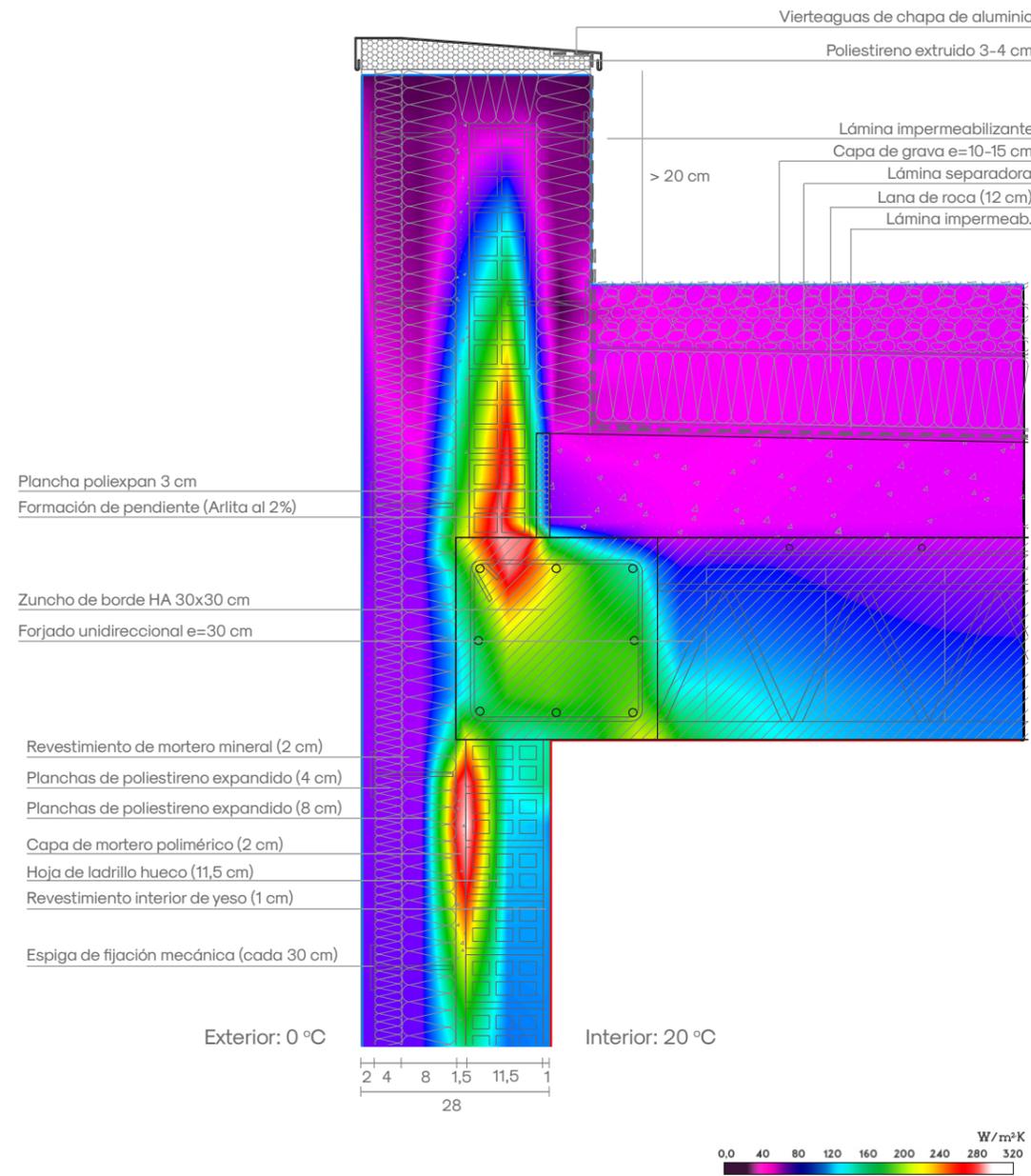
En el encuentro de fachada con el terreno se impermeabiliza como marca el CTE y se protege del exterior con una chapa plegada. Aquí existe, como ocurre en la capuchina, una interrupción del aislante en el apoyo de la hoja de ladrillo interior.

CASO 3: SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR

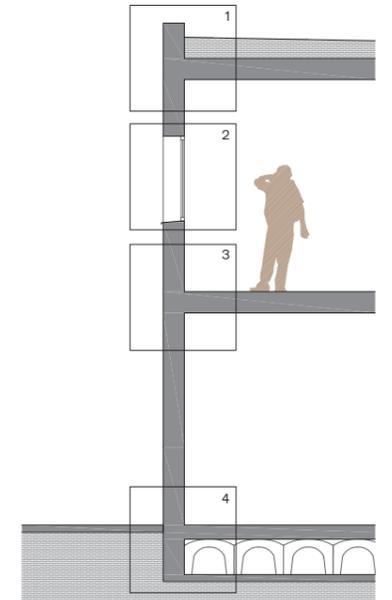
TERMOGRAFÍA DETALLE 1



Detalle 1.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 1.
Escala 1:10



Detalle 1.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 1.
Escala 1:10



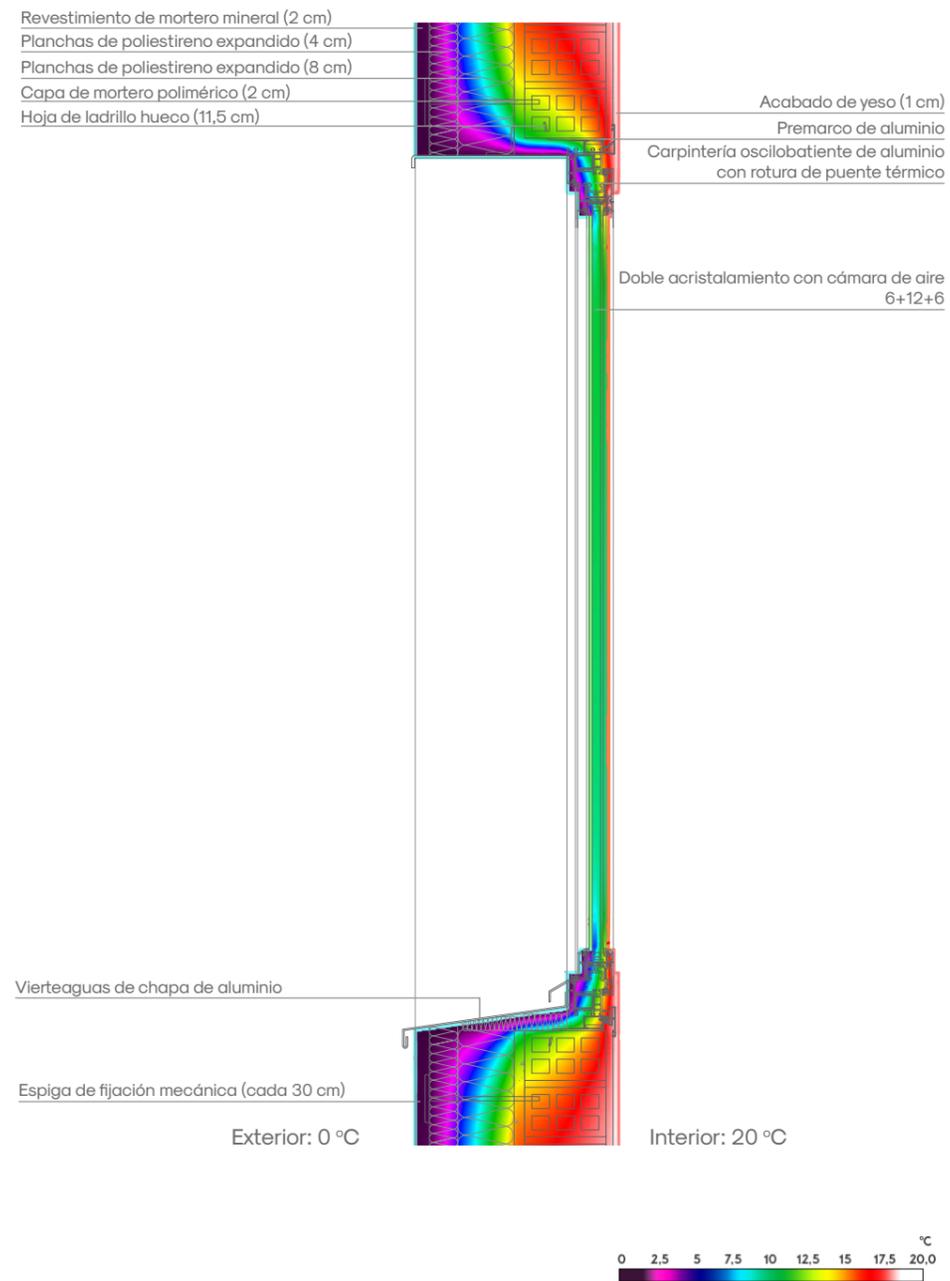
Observaciones:

- El puente térmico es mínimo puesto que, aunque se ve un flujo de calor en el peto de cubierta, es de baja intensidad y el calor queda cerrado por un aislamiento que lo envuelve. La buena ejecución en este punto es muy importante.

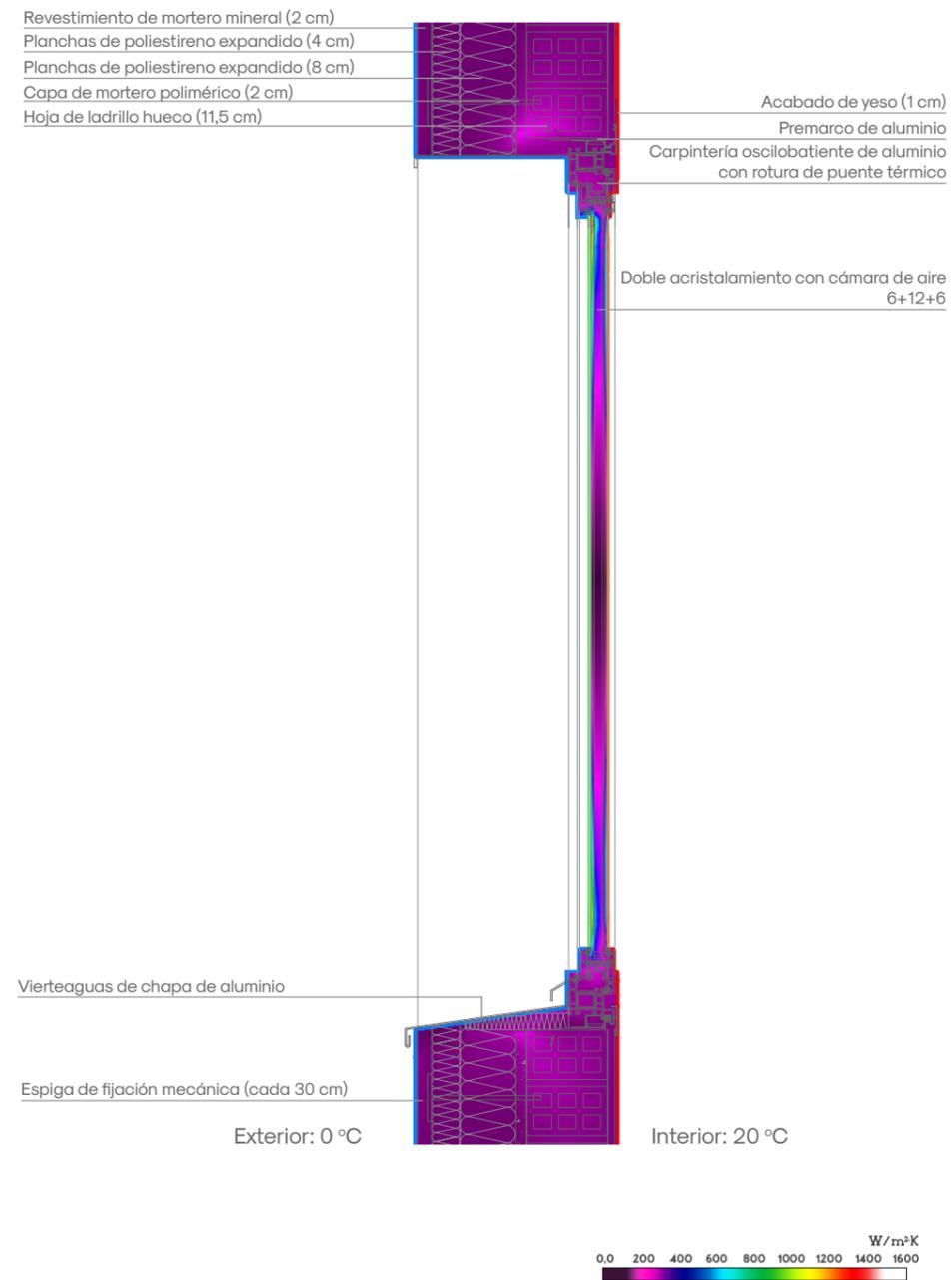
- La temperatura en el interior permanece invariable, y el cambio brusco de temperatura se produce lejos de la superficie de acabado interior.

CASO 3: SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR

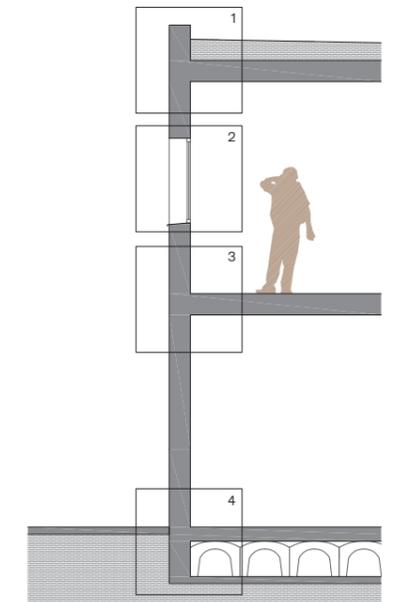
TERMOGRAFÍA DETALLE 2



Detalle 2.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 2. Escala 1:10



Detalle 2.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 2. Escala 1:10



Observaciones:

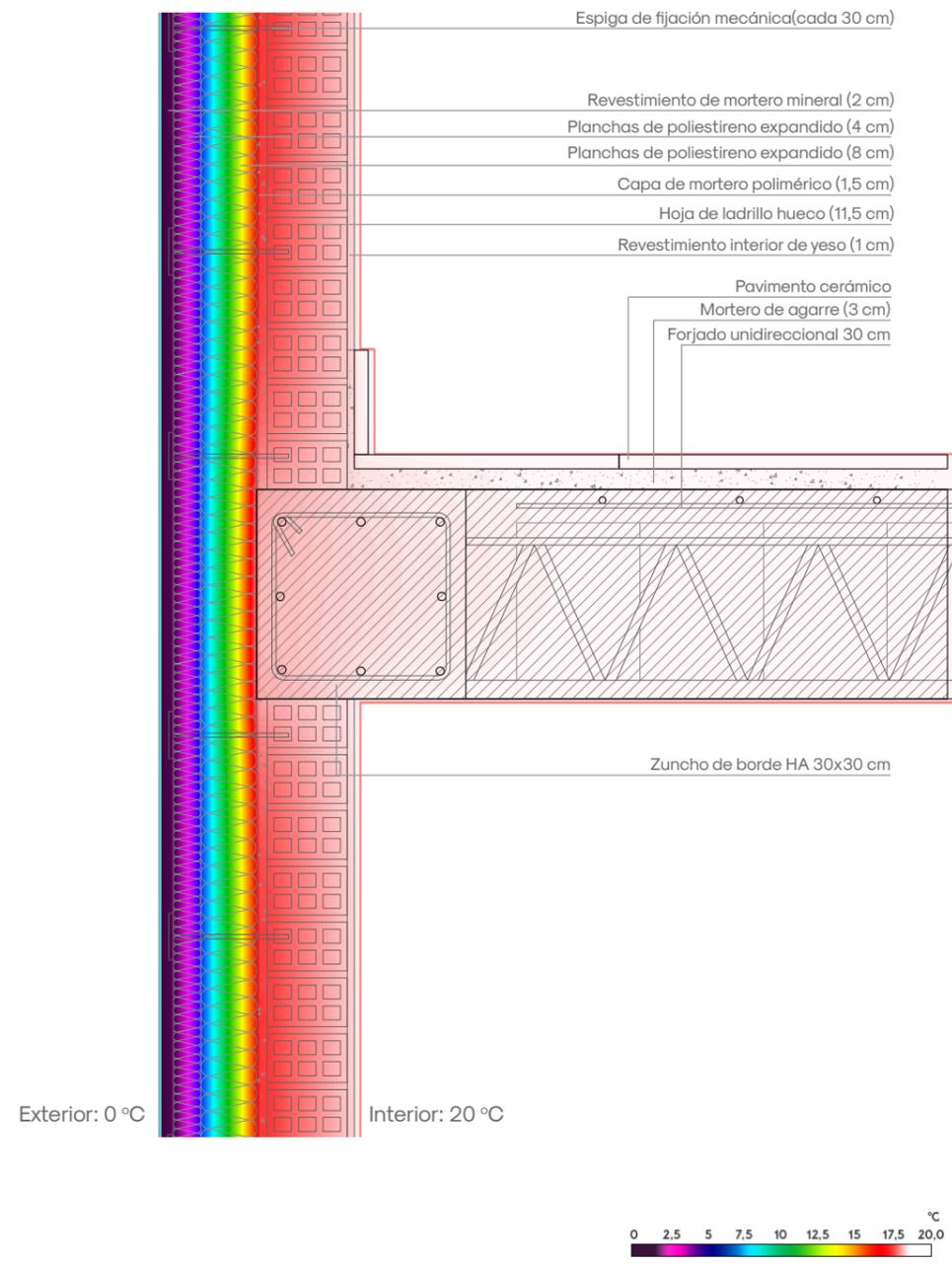
- El hueco de ventana tiene distintas soluciones para resolverlo con SATE. Lo importante es cerrar con aislamiento todo lo que se pueda hasta la carpintería.

- En el alféizar se termina el aislamiento con la chapa del vierendeaguas, y el relleno de formación de pendiente es de lana de roca, para evitar el puente térmico de casos anteriores.

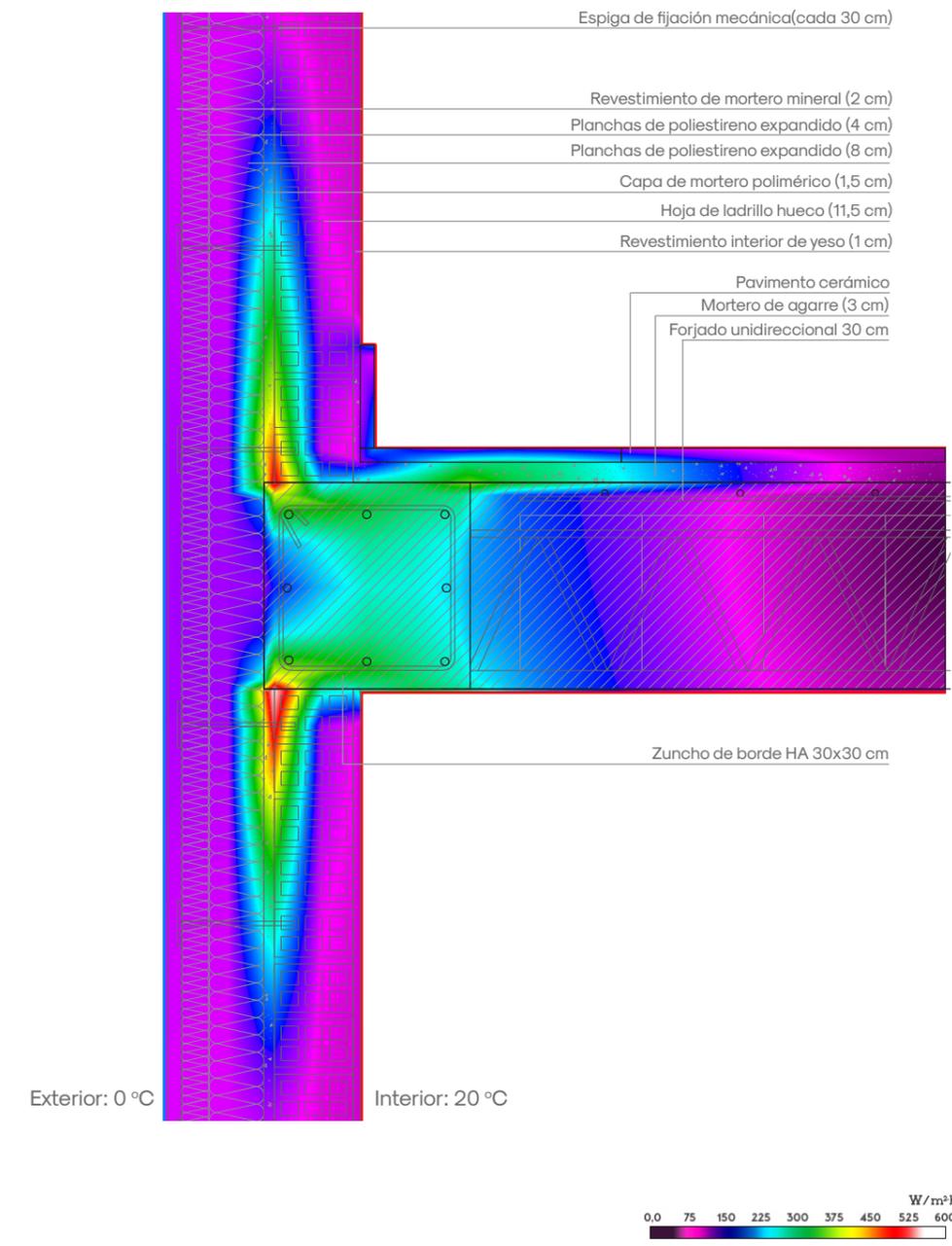
- En el dintel es más complejo, y surge un pequeño puente térmico a través del premarco.

CASO 3: SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR

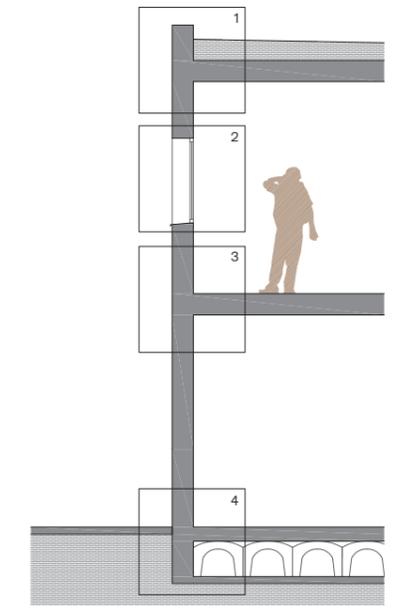
TERMOGRAFÍA DETALLE 3



Detalle 3.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 3. Escala 1:10



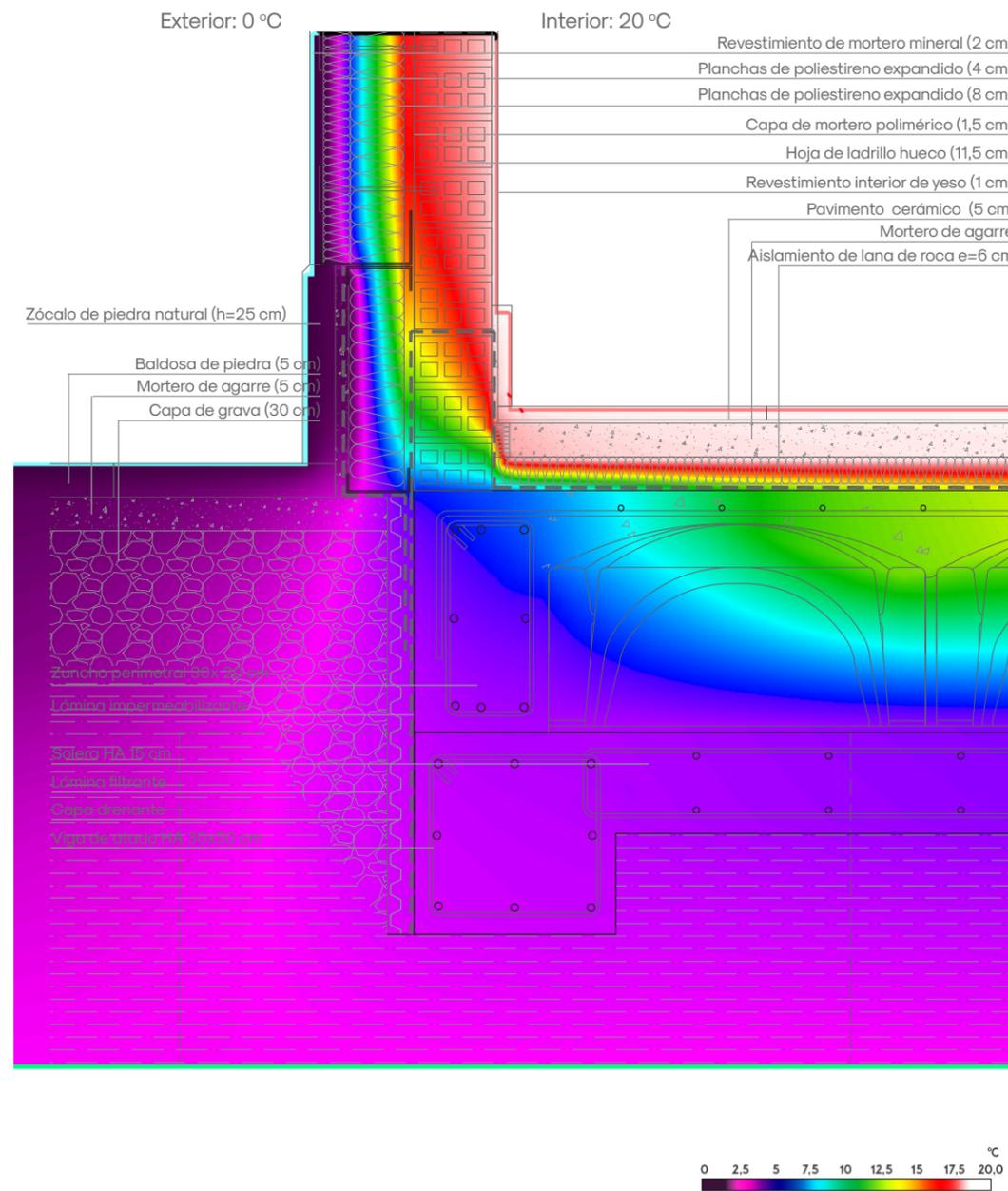
Detalle 3.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 3. Escala 1:10



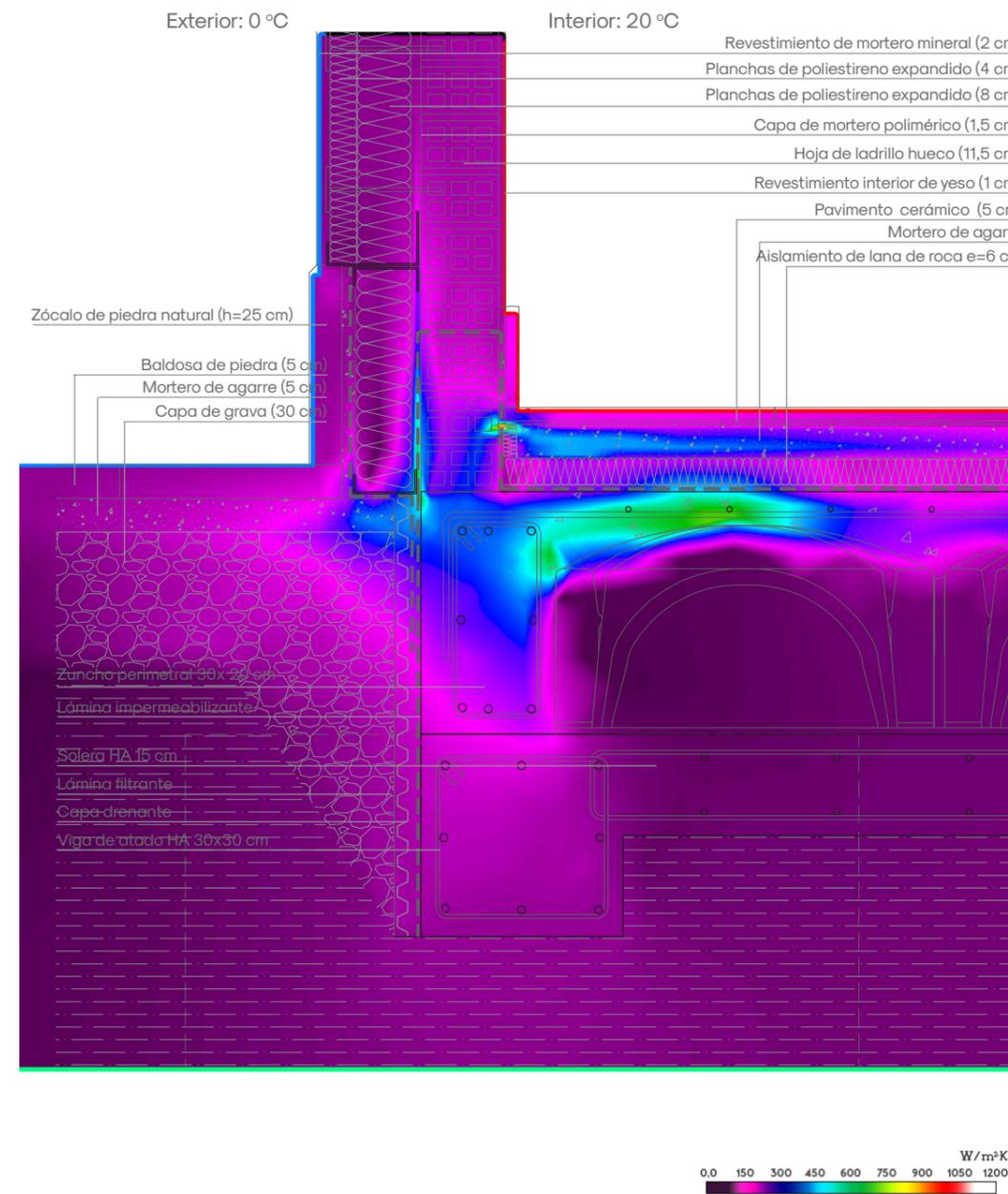
- Observaciones:
- Este es el punto fuerte del SATE: donde habitualmente hay más puentes térmicos, en los encuentros con la estructura, el SATE los elimina desde fuera. El forjado tiene la temperatura del aire interior.
 - El Therm refleja flujo de calor en la viga y la hoja de ladrillo, pero en ningún momento conecta con el exterior.

CASO 3: SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR

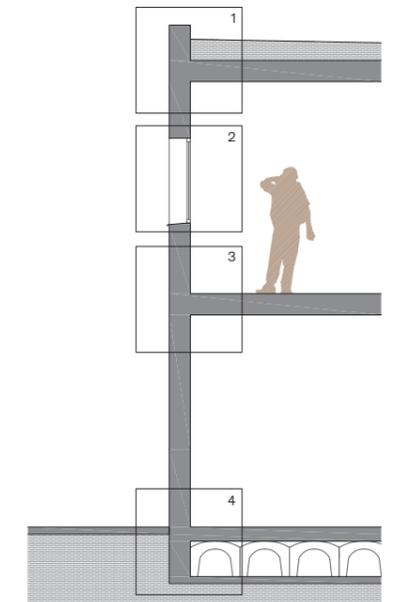
TERMOGRAFÍA DETALLE 4



Detalle 4.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 4.
Escala 1:10



Detalle 4.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 4.
Escala 1:10



Observaciones:

- El aislamiento térmico continúa sobre la losa de compresión del forjado sanitario. Sólo hay una interrupción en la hoja de ladrillo interior (igual que en la fachada capuchina).
- La cámara de aire aísla entre 5-10 °C la temperatura de la losa de cimentación con la capa de compresión del Caviti.

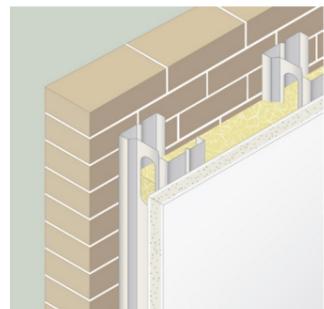
CASO 4: AISLAMIENTO DE TRASDOSADO INTERIOR

PROTEGIDO DESDE EL INTERIOR

La posición del aislamiento térmico en el edificio condiciona la forma de afrontar la envolvente de protección térmica en el edificio. En el ejemplo anterior se propone el aislamiento por el exterior del edificio, creando una envolvente sin interrupciones del aislamiento y, por tanto, sin apenas puentes térmicos. Sin embargo, esto no siempre es posible, sobre todo en viviendas por rehabilitar. Para que en un edificio se lleve a cabo un aislamiento por el exterior se necesita un acuerdo entre la comunidad de vecinos, cosa que muchas veces no es posible; o puede existir la imposibilidad de aislar por el exterior a causa de una edificación colindante o una normativa restrictiva.

Ante todas estas posibles problemas existe una solución que da resultado: el trasdosado interior. Un trasdosado consiste en el revestimiento de cualquier tipo de muro que pueda existir en la edificación, en este caso por el interior. Nos permite aislar térmica y acústicamente una vivienda concreta, además de poder albergar instalaciones en su interior.

SISTEMAS DE TRASDOSADO INTERIOR



Trasdosado autoportante

Los paneles de acabado interior, normalmente de yeso laminado, van atornillados a una perfilería metálica, que va anclada al muro exterior. Es el más común, ya que se puede aprovechar el espacio interior para instalaciones y/o aislamiento térmico.

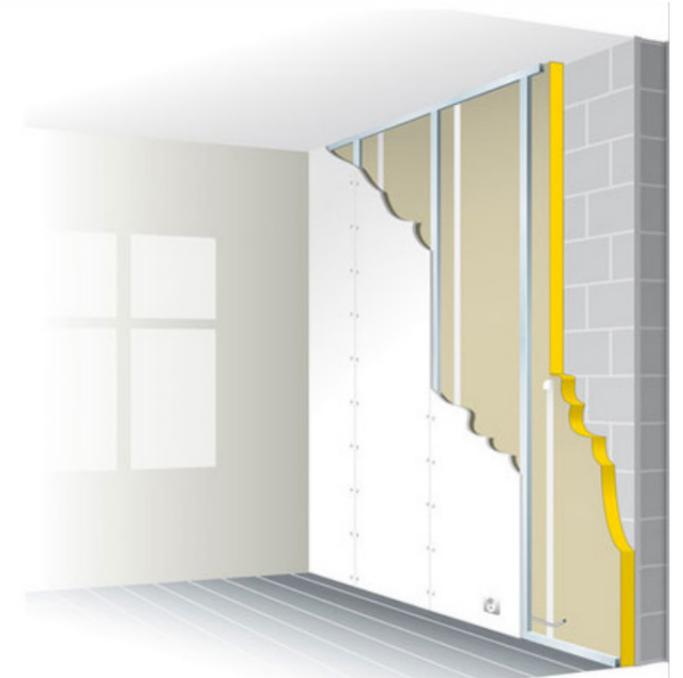


Trasdosado directo o semidirecto

Los paneles interiores van directamente fijados al muro exterior, bien con un adhesivo (directo), o atornillados (semidirecto). Se suelen emplear para rehabilitaciones que no permitan el trasdosado autoportante.

VENTAJAS DEL TRASDOSADO INTERIOR

- Independencia de factores externos: no afecta al entorno del edificio y permite aislar sectores del edificio.
- Facilidad de puesta en obra. Menor incidencia de mano de obra. Muy versátil en rehabilitación.
- Capacidad de rellenar con aislamiento térmico.
- Posibilidad de albergar instalaciones, sobre todo eléctricas y de fontanería.
- Menor espesor de muro de fachada en caso de obra nueva.



Cerramiento con trasdosado interior.
Fuente: NewCons.com

Elemento base exterior

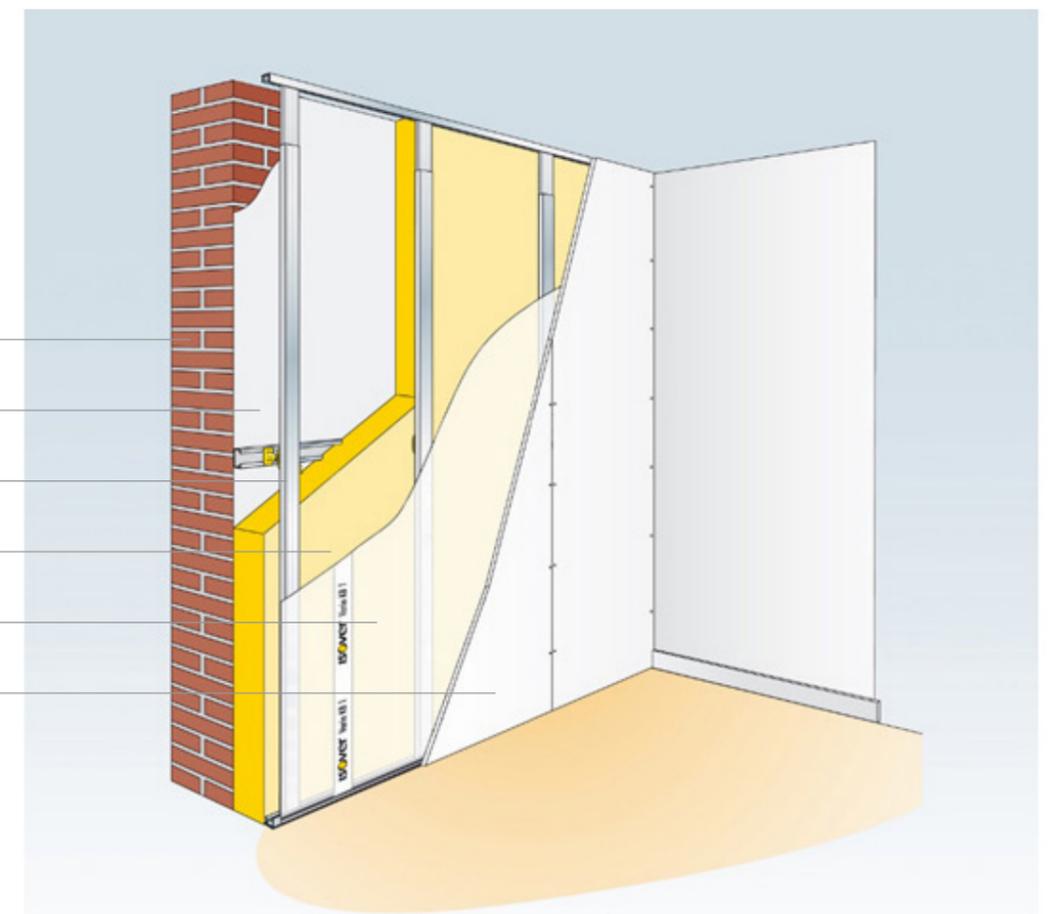
Capa de mortero base

Perfilería metálica

Aislante térmico

Panel de yeso laminado 1

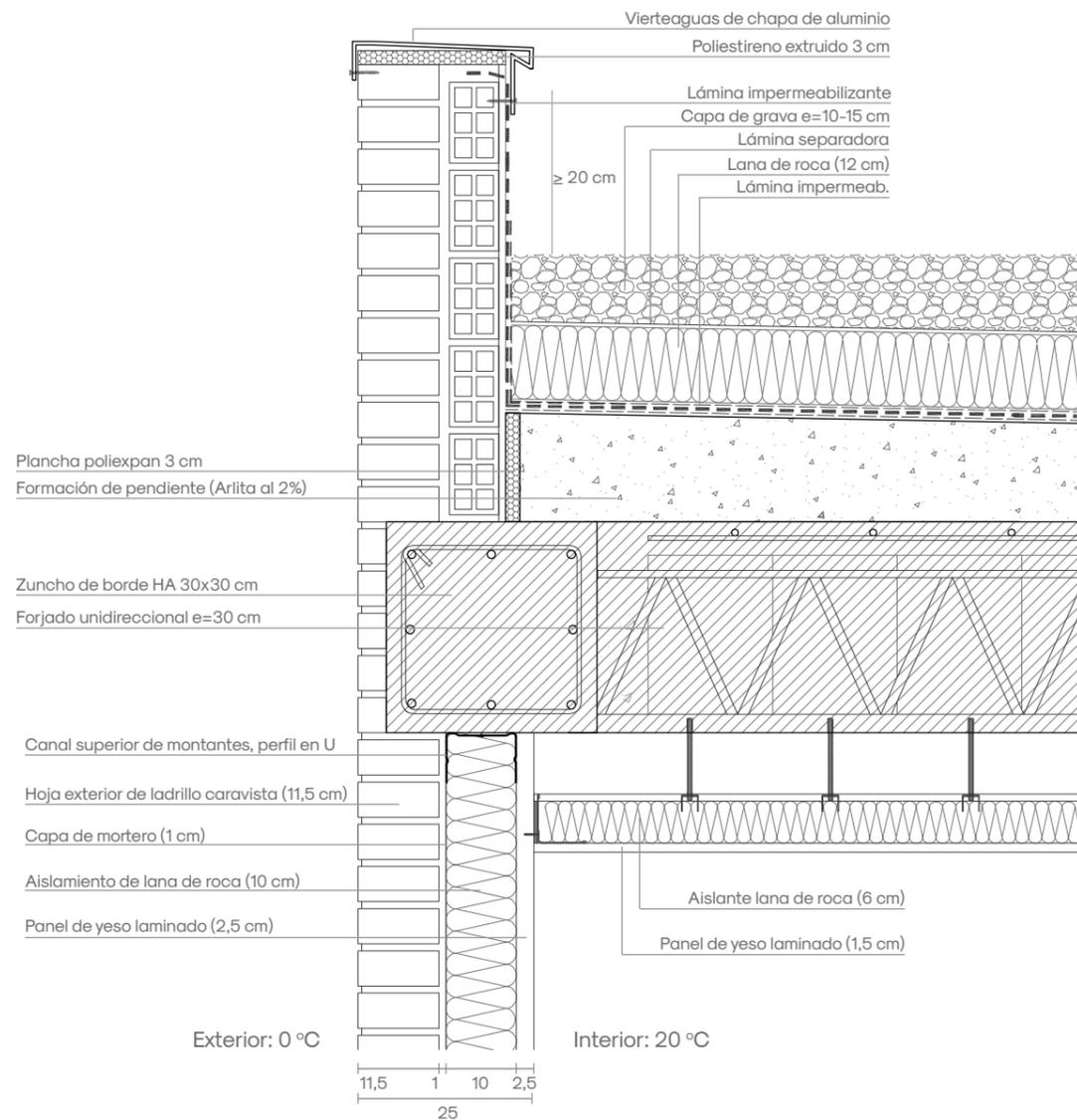
Panel de yeso laminado 2 + acabado



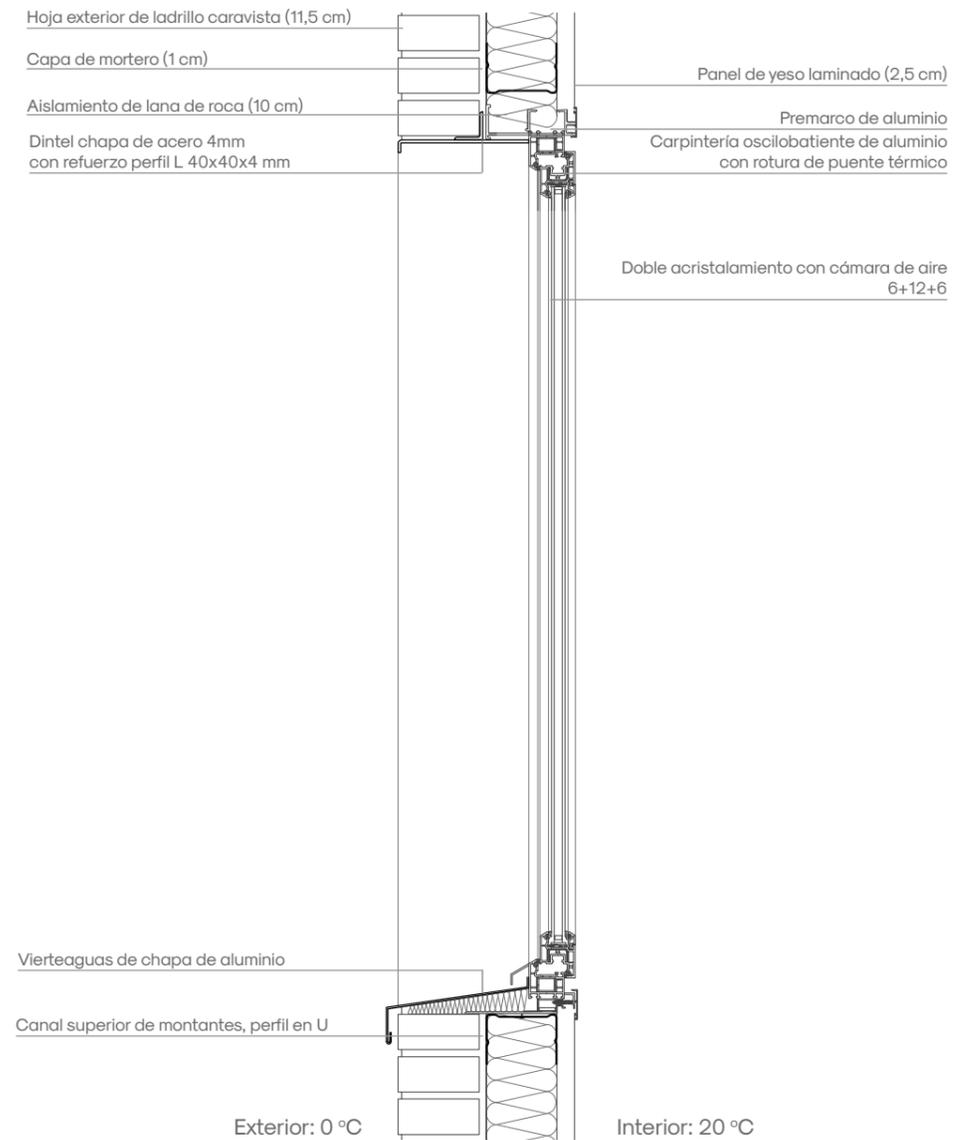
Cerramiento con trasdosado interior.
Fuente: Isover Weber

CASO 4: AISLAMIENTO DE TRASDOSADO INTERIOR

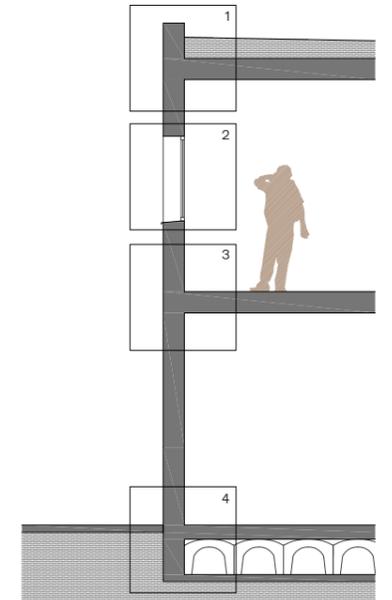
DETALLES 1 Y 2



Detalle 1: Encuentro de cubierta invertida y fachada de ladrillo caravista con trasdosado interior
Escala 1:10



Detalle 2: Ventana practicable en fachada de ladrillo caravista con trasdosado interior
Escala 1:10



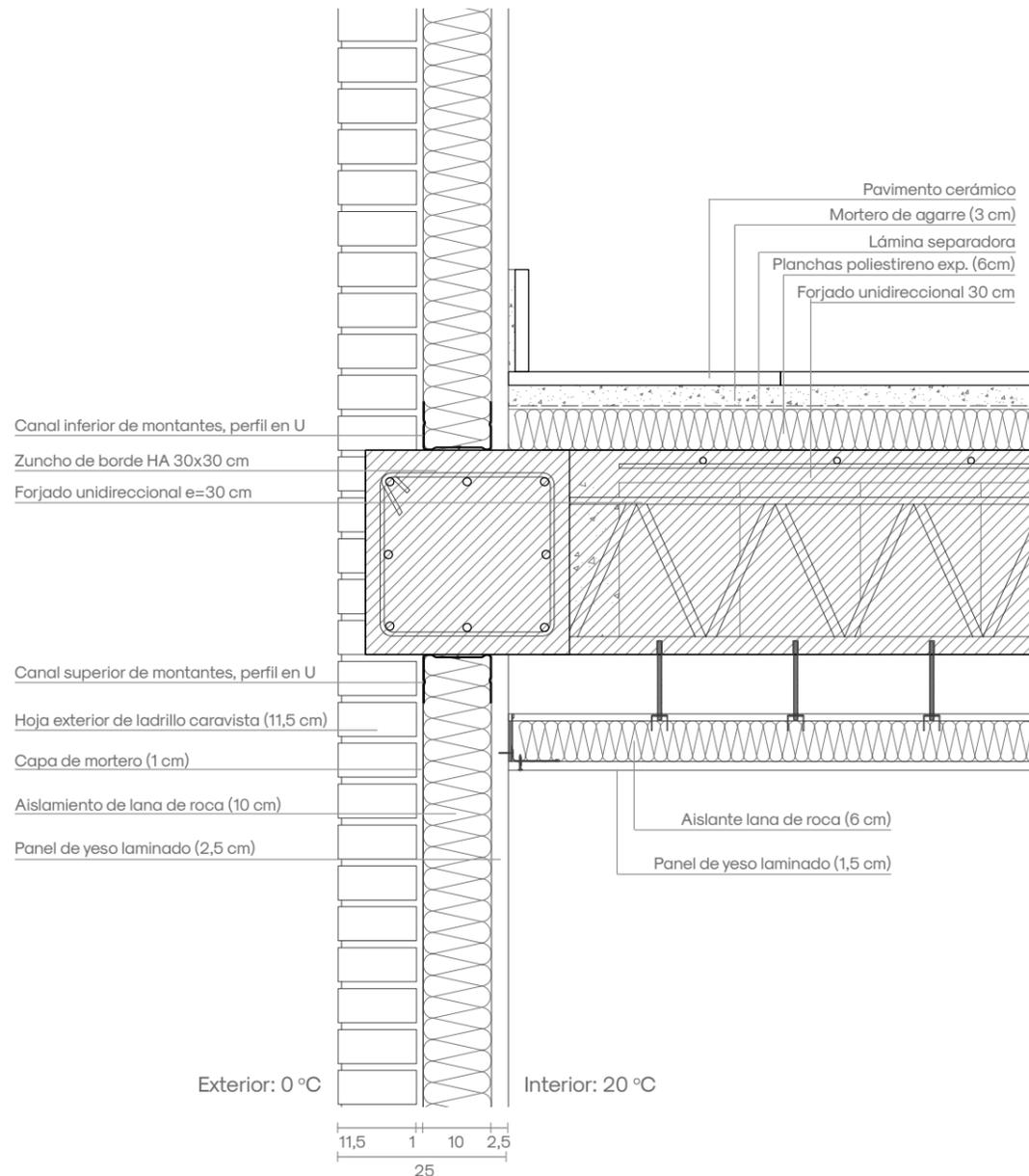
El aislamiento interior normalmente se aplica en edificios de rehabilitación, aunque en este caso se plantea en obra nueva. Es importante mantener bien cubierto el encuentro de fachada con el aislamiento de techo o de suelo.

El espesor dependerá de si es aislamiento único o se complementa con otra capa. En el caso de la cubierta, como ya tiene 12 cm de lana de roca, se coloca menos espesor en el interior, aunque hay que cerrarlo bien para cortar el puente térmico.

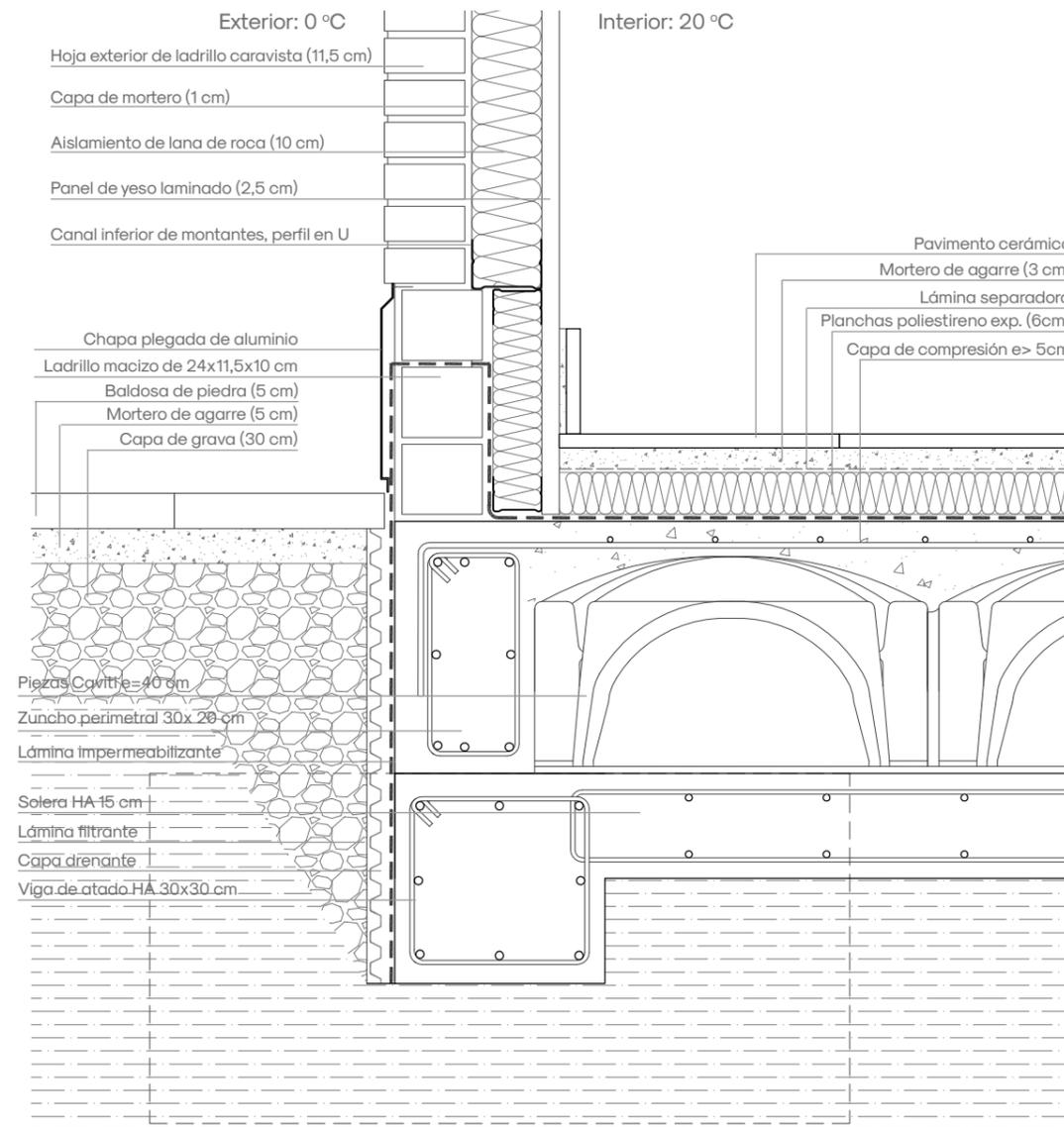
La carpintería de la ventana va apoyada en la perfilera del trasdosado, que tiene resistencia suficiente.

CASO 4: AISLAMIENTO DE TRASDOSADO INTERIOR

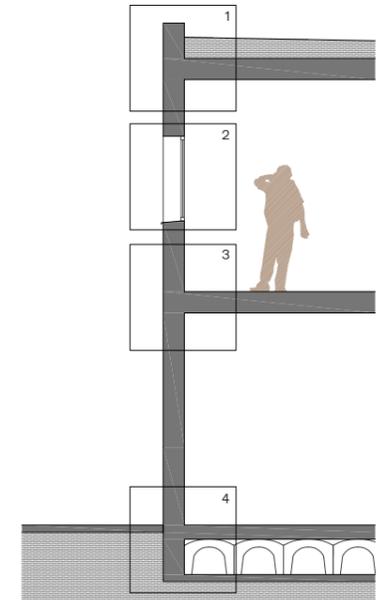
DETALLES 3 Y 4



Detalle 3: Encuentro de forjado intermedio con fachada de ladrillo caravista con trasdosado interior
Escala 1:10



Detalle 4: Encuentro de fachada de ladrillo caravista con trasdosado interior con el terreno y el forjado antihumedad
Escala 1:10

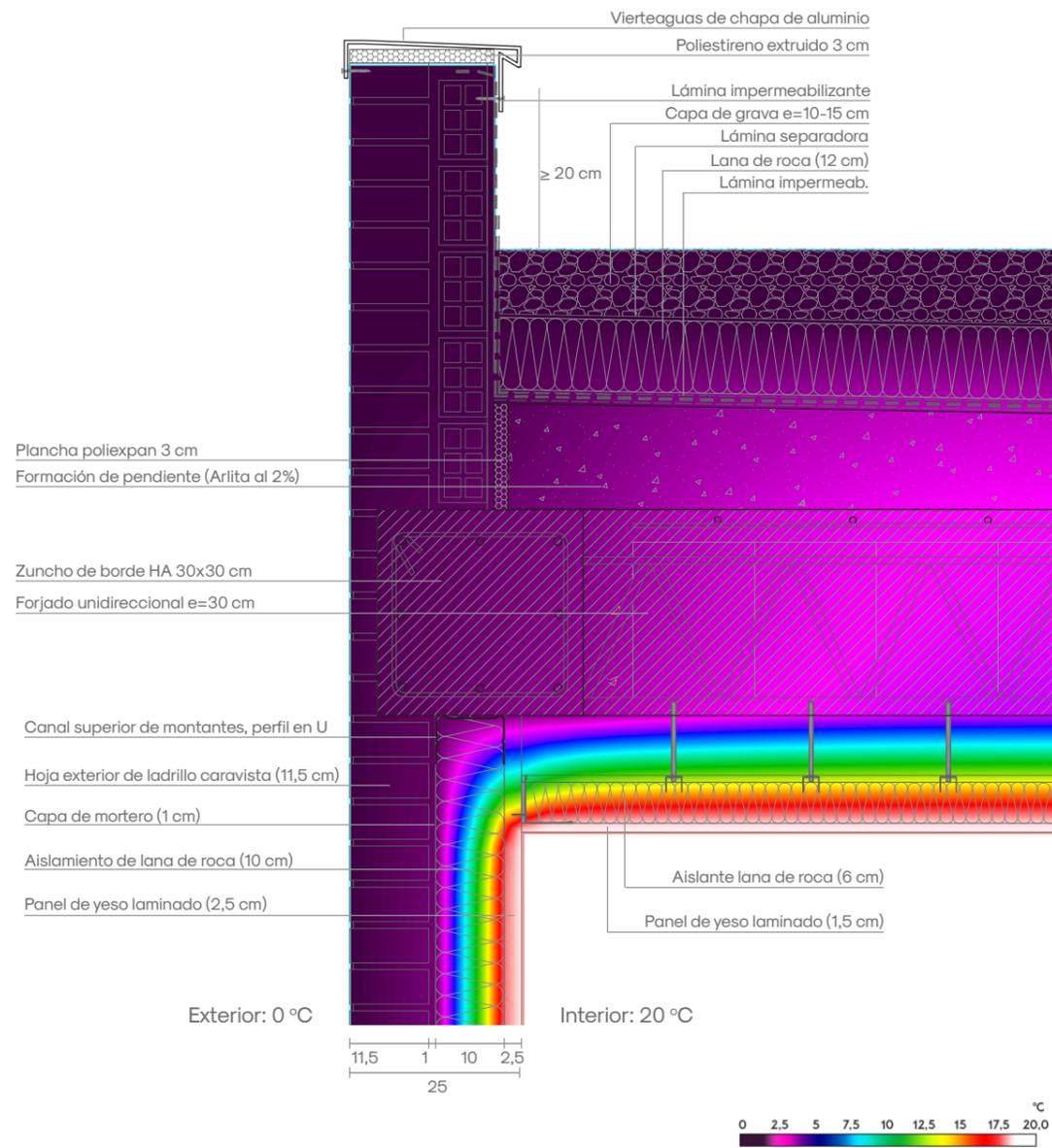


Al igual que sucede en cubierta, es preciso aislar el forjado intermedio tanto en suelo como en techo. La estructura carece de protección térmica y debe forrarse para cortar el puente térmico.

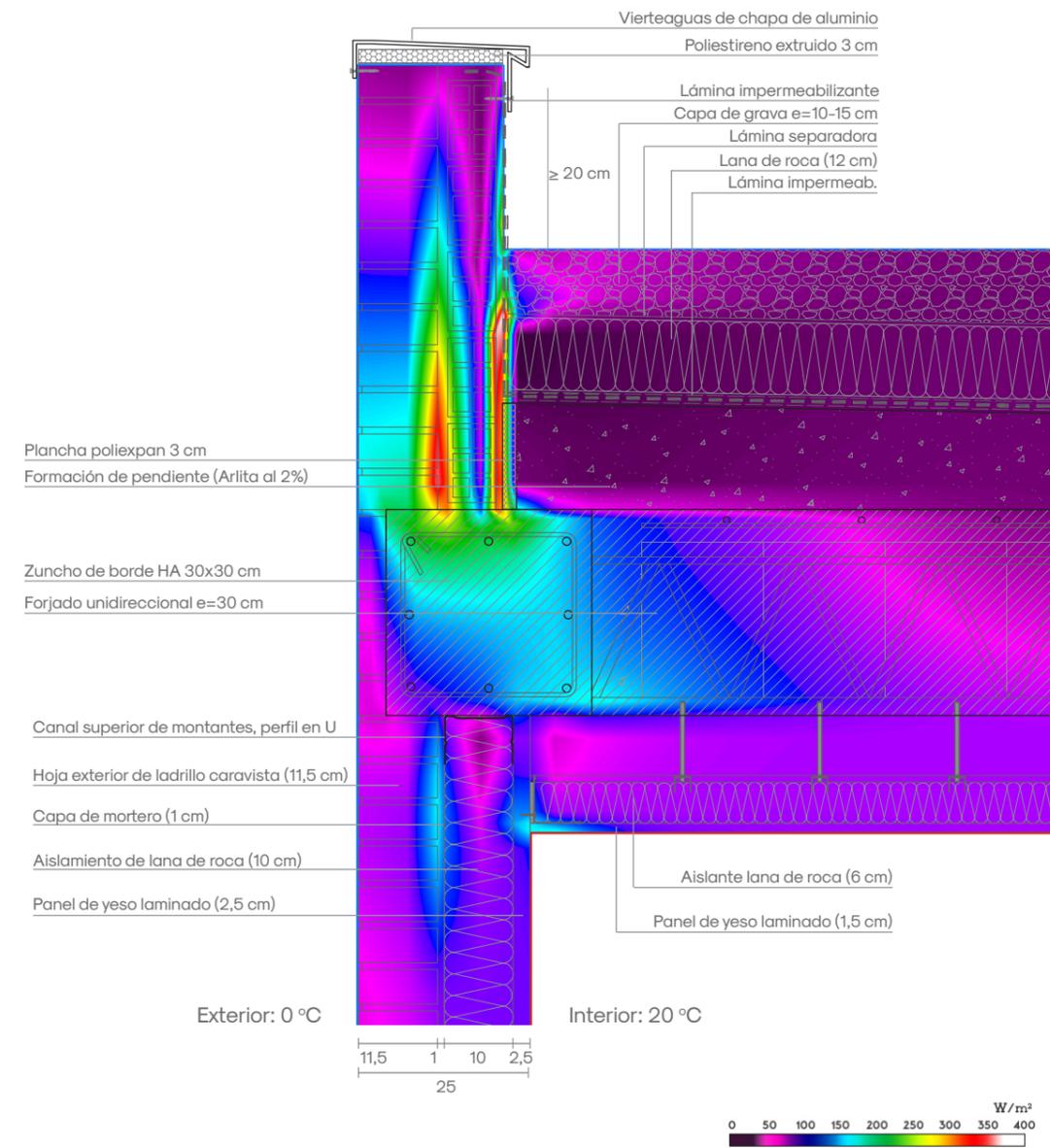
Aunque en suelo y techo no se coloca un aislamiento con el espesor del que hay en fachada, tiene un espesor suficiente para mantener el confort térmico del interior. Es importante no interrumpir el aislamiento, o hacerlo lo menos posible, en tabiques y huecos de fachada.

CASO 4: AISLAMIENTO DE TRASDOSADO INTERIOR

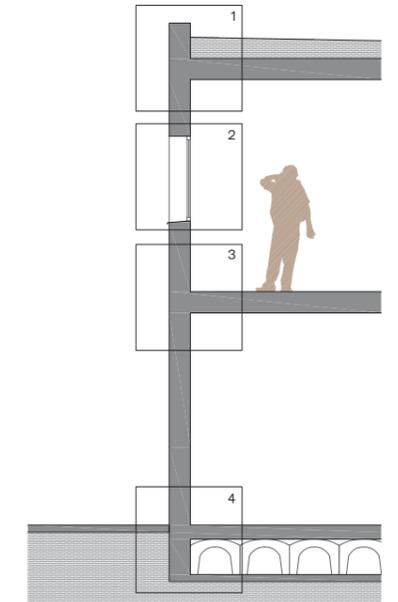
TERMOGRAFÍA DETALLE 1



Detalle 1.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 1. Escala 1:10



Detalle 1.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 1. Escala 1:10

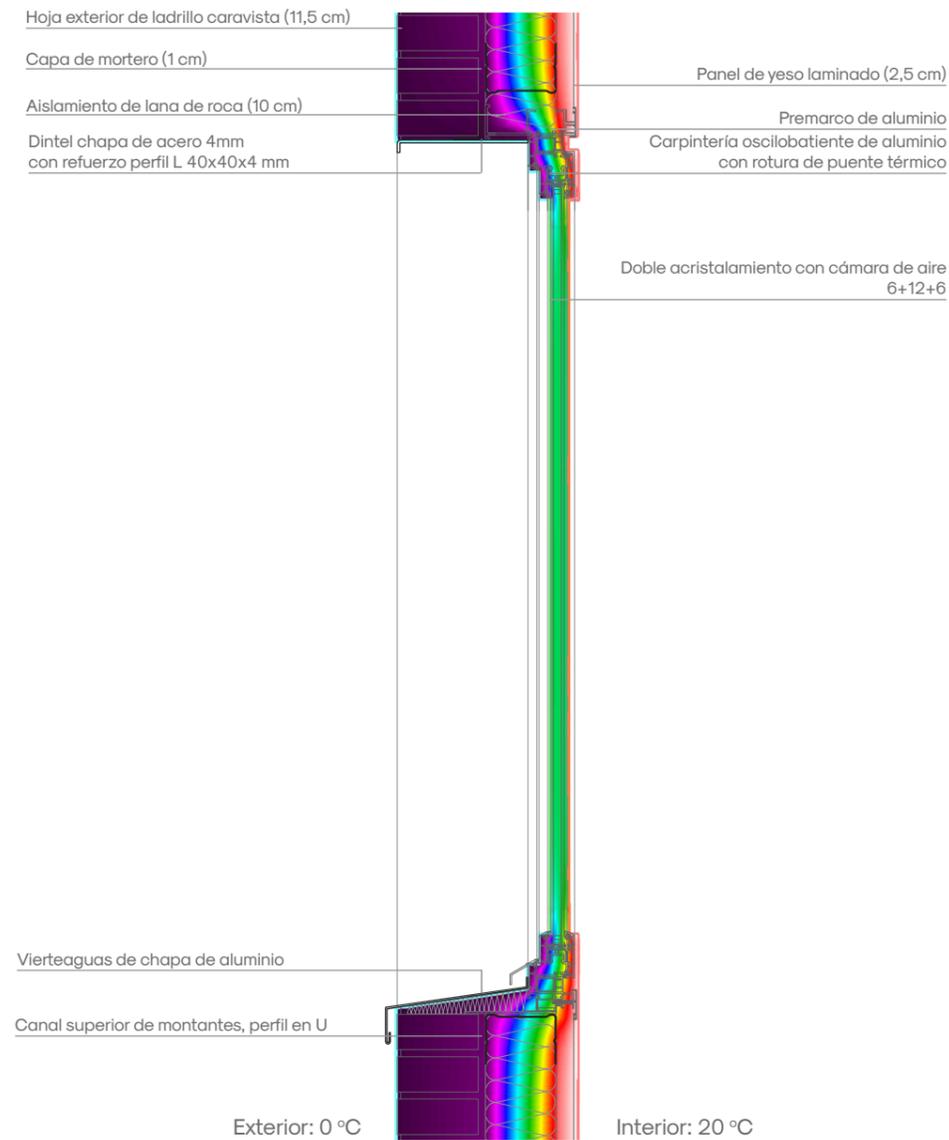


Observaciones:

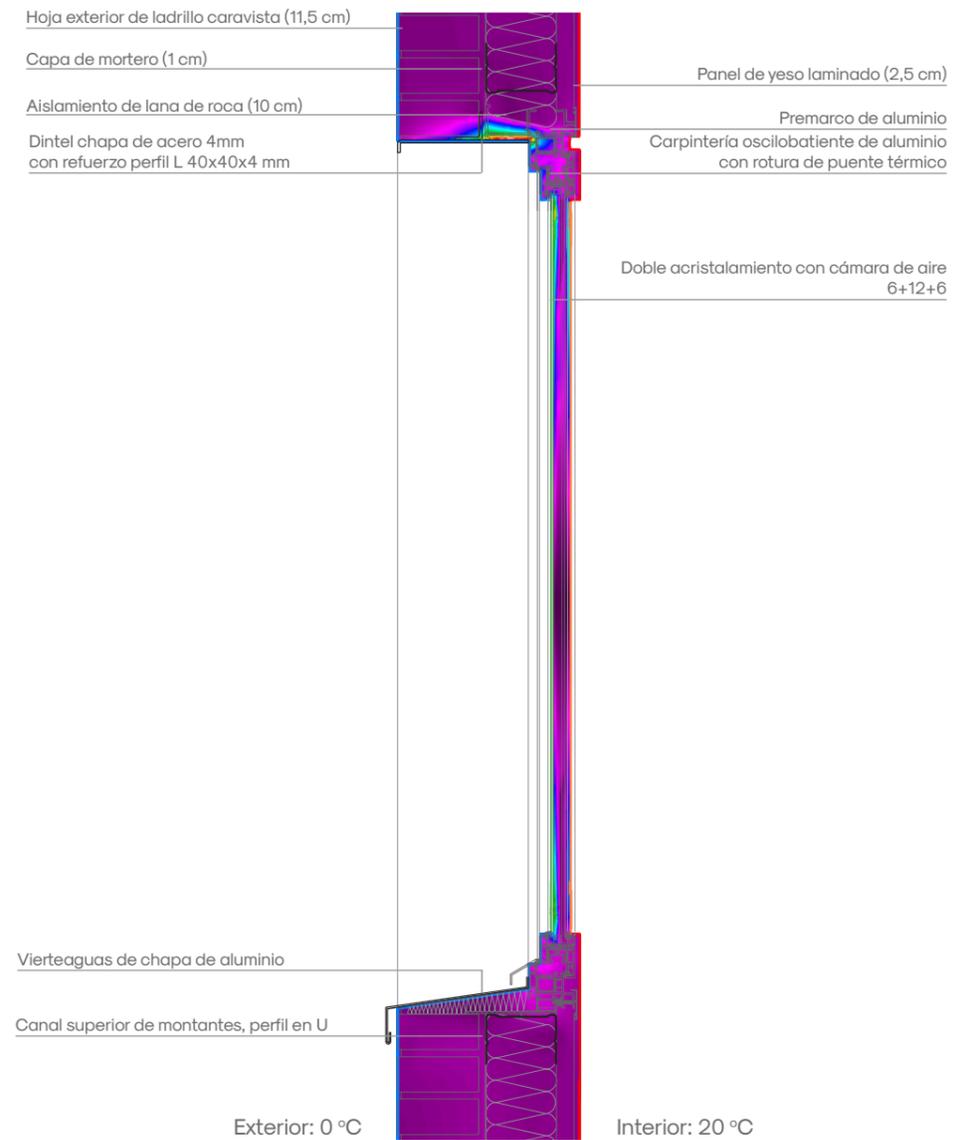
- El cambio brusco de temperatura se produce en la cara interior del cerramiento. El aislamiento de la cubierta apenas amortigua la temperatura exterior.
- El puente térmico que aparecía en el Caso 1 se ve interrumpido por el aislamiento interior, el frío entra por el peto de cubierta hacia la viga, pero queda retenido.

CASO 4: AISLAMIENTO DE TRASDOSADO INTERIOR

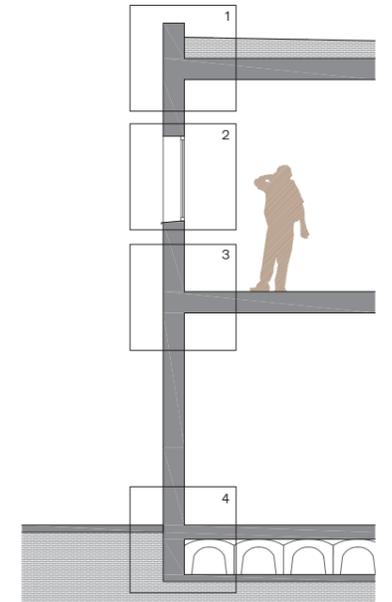
TERMOGRAFÍA DETALLE 1



Detalle 2.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 2. Escala 1:10



Detalle 2.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 2. Escala 1:10



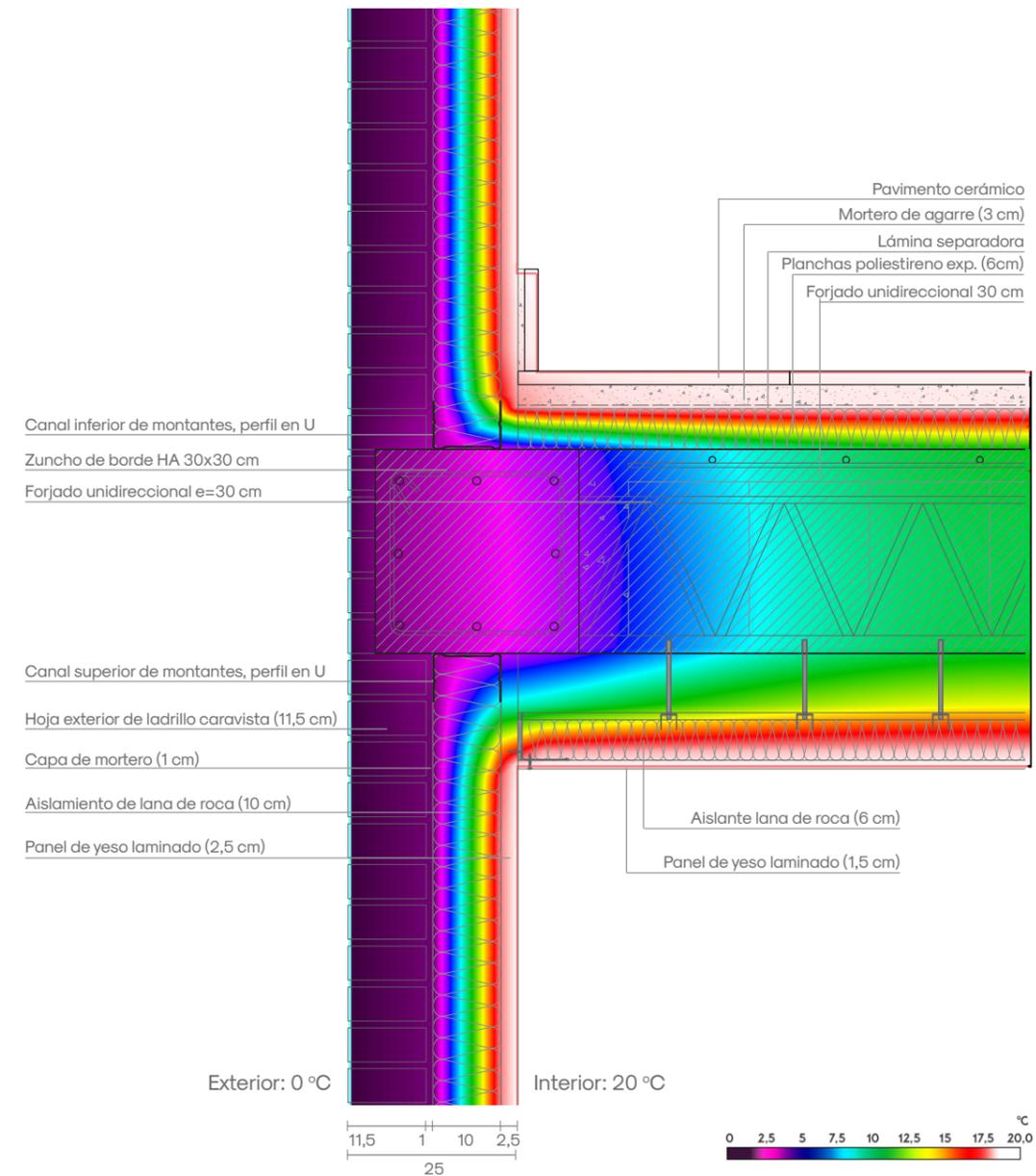
Observaciones:

- Al igual que en Detalle 1, se observa que el calor queda retenido desde el interior.

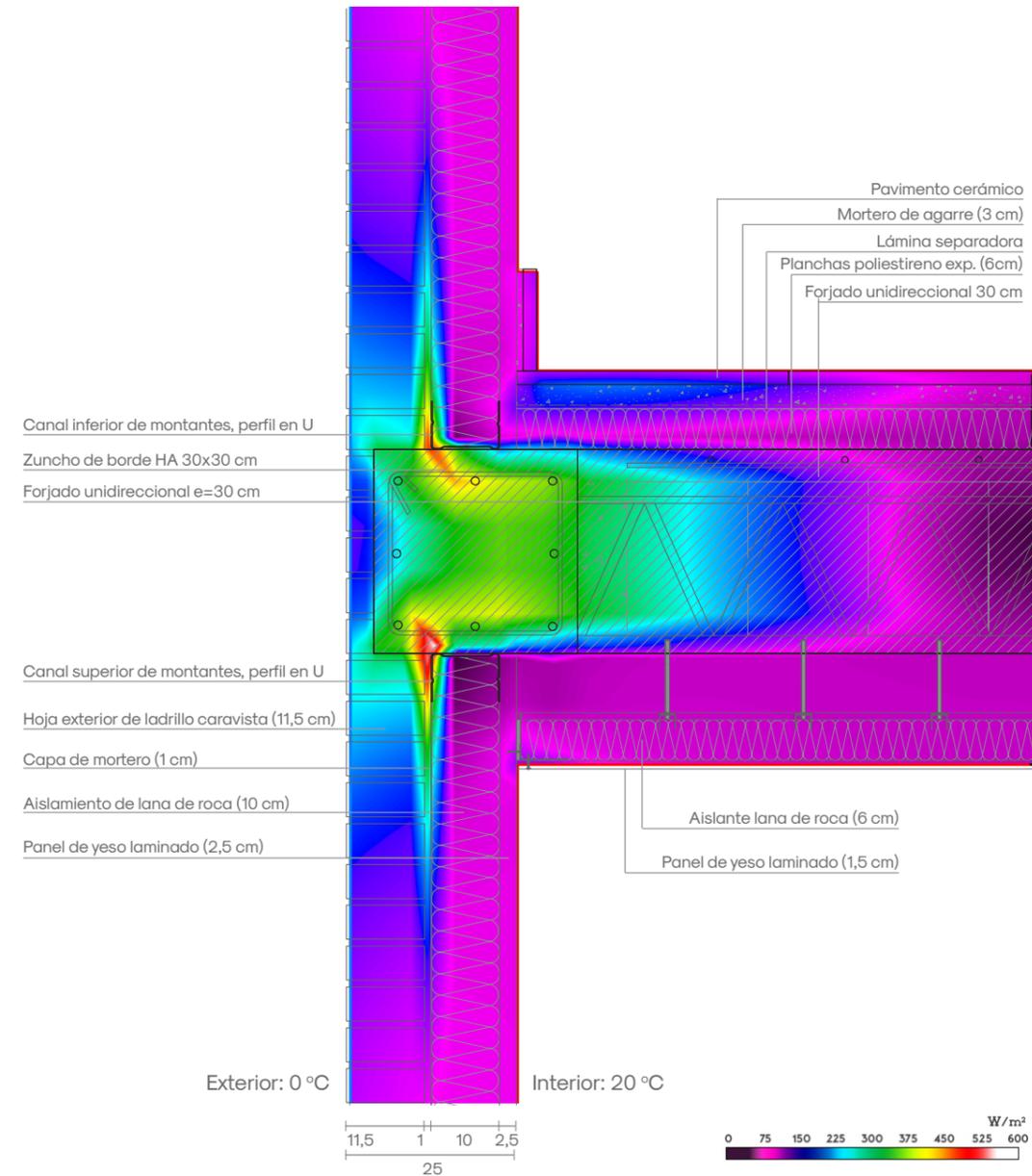
- El principal puente térmico es a través del dintel y del premarco. Si embargo, es pequeño por el encuentro con el aislamiento térmico.

CASO 4: AISLAMIENTO DE TRASDOSADO INTERIOR

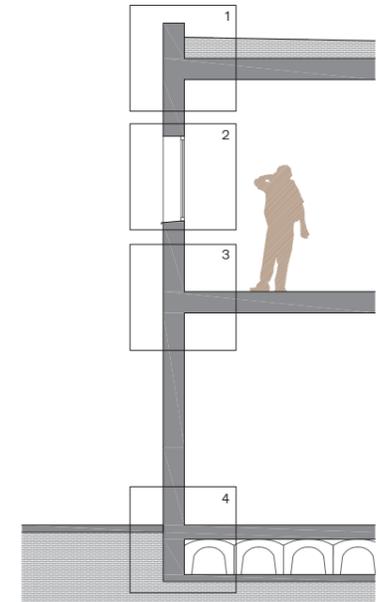
TERMOGRAFÍA DETALLE 3



Detalle 3.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 3. Escala 1:10



Detalle 3.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 3. Escala 1:10



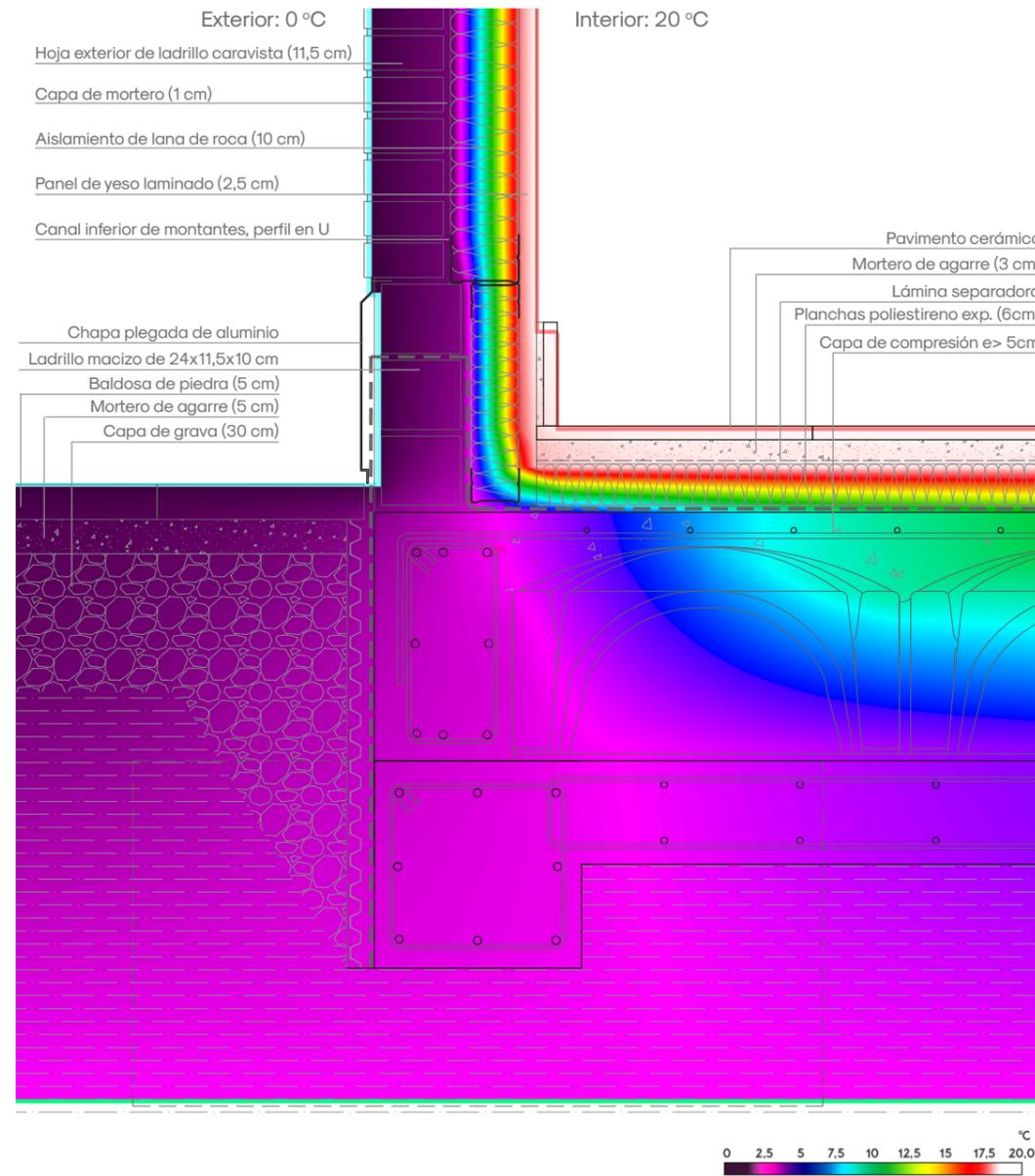
Observaciones:

- Otra de las diferencias con el SATE es la temperatura de la estructura. Con el aislamiento por el exterior los forjados y pilares se mantienen a la temperatura de confort, mientras que con el trasdosado interior no.

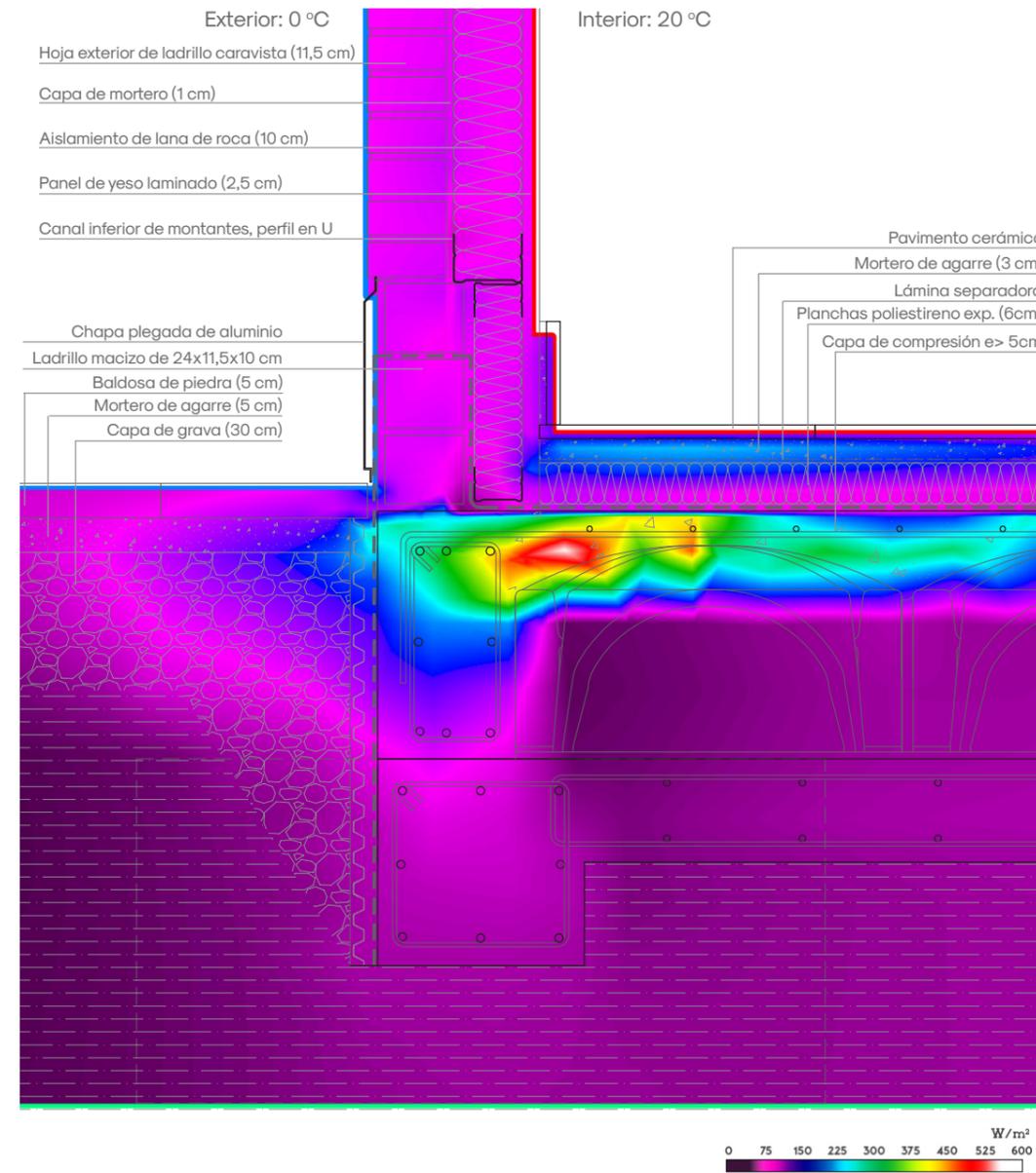
Esto puede dar como resultado que si no está bien cerrado todo el aislamiento se pueden dar pérdidas de calor a través de la estructura.

CASO 4: AISLAMIENTO DE TRASDOSADO INTERIOR

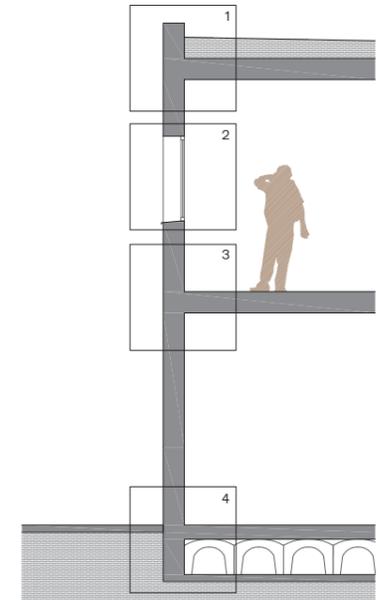
TERMOGRAFÍA DETALLE 4



Detalle 4.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 4.
Escala 1:10



Detalle 4.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 4.
Escala 1:10



Observaciones:

- El frío exterior queda contenido en la capa de compresión del Caviti, y fluye a través de este ya que el aislamiento ejerce de barrera térmica.

- Es importante que en el encuentro haya la mínima separación posible entre el aislamiento del trasdosado y el aislamiento bajo el pavimento.

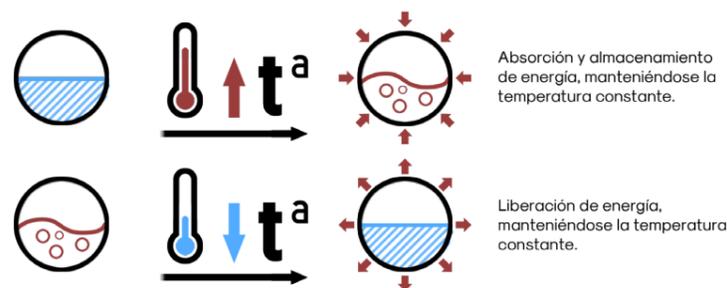
CASO 5: PCM (MATERIAL DE CAMBIO DE FASE)

CAMBIO DE ESTADO COMO REGULADOR DE LA ENERGÍA

¿Cómo es posible mantener, con el menor consumo de energía posible, el calor acumulado en invierno durante el día hasta la noche, y mantener las temperaturas frescas de la noche veraniega durante el día? Lo habitual en la construcción ha sido dotar la fachada de inercia térmica con masa, mediante la piedra natural, el ladrillo o el hormigón. Estas masas absorben la energía y la almacenan, hasta dispersarla cuando el entorno la requiere. Gracias a esta técnica constructiva, se consigue mantener el interior de una edificación con la temperatura más constante a lo largo del día. En verano los muros absorben toda la energía de radiación exterior, y por la noche la dispersan.

Sin embargo, la inercia térmica supone un gran coste de superficie útil en la edificación, además un esfuerzo económico en materiales. Con la tecnología actual se pueden plantear sistemas constructivos que, mediante la utilización de otro tipo de materiales, se pueda absorber y dispersar energía sin recurrir a grandes espesores.

Los PCM (Phase Change Materials, materiales de cambio de fase), son materiales acumuladores de calor latente, que trabajan de la siguiente manera: el cambio de estado de un material, como puede ser el agua de estado sólido a líquido, requiere un incremento de la energía interna para que se produzca, pero para ello necesita una absorción del entorno en el que se encuentra. En el proceso inverso ocurre lo contrario, cuando el agua líquida pasa a estado sólido tras un enfriamiento, se vuelven a formar cristales, cediendo la energía acumulada (entalpía de fusión) como calor latente. Debido a que la mayor parte de la acumulación de calor se produce en el cambio de estado físico, la temperatura permanece constante durante el proceso. A los materiales con estas propiedades se les denominan materiales de cambio de fase.

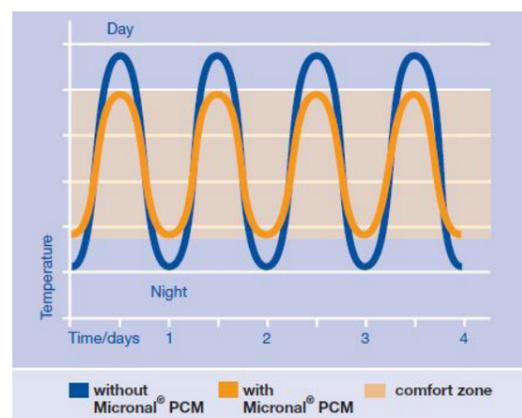


MATERIALES EMPLEADOS COMO PCM

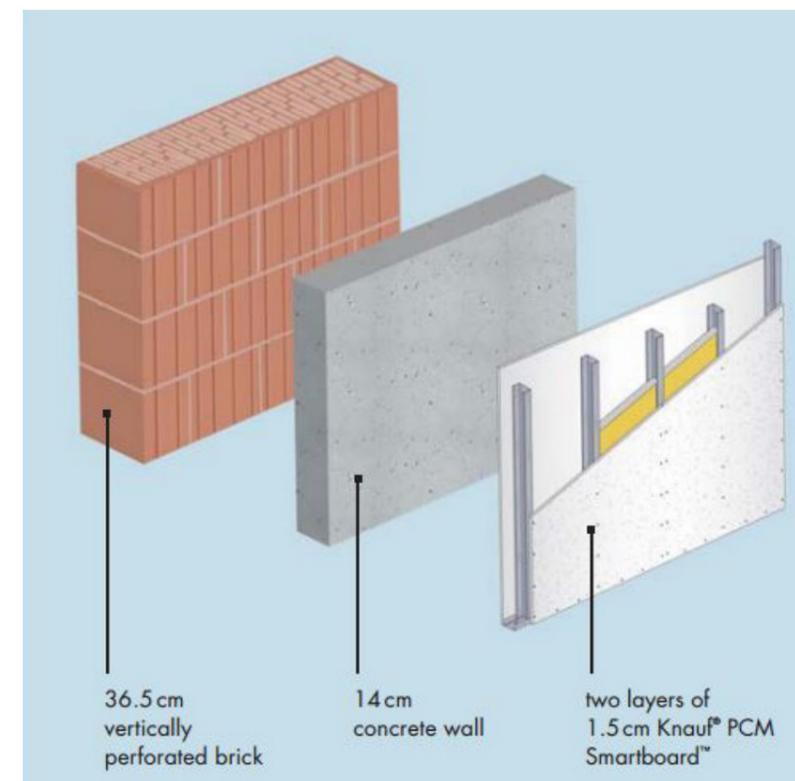
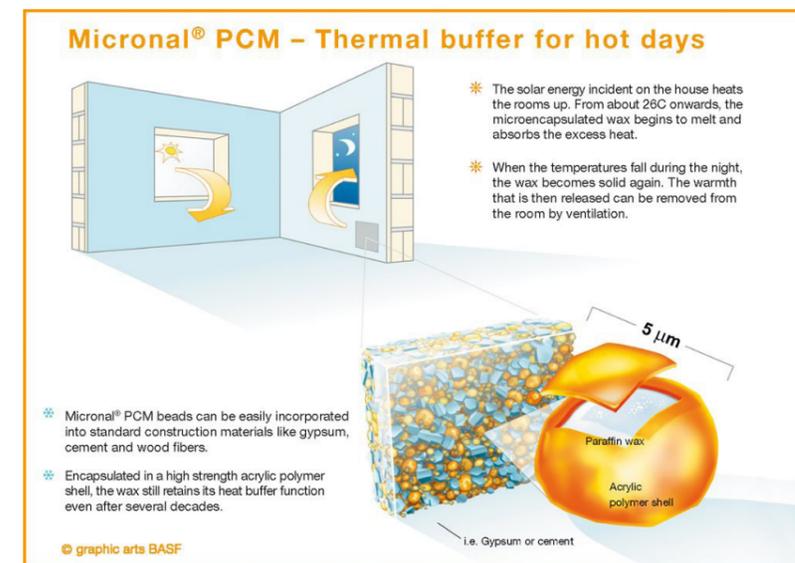
El acumulador de calor latente más utilizado siempre ha sido el agua. En la cultura árabe, y en concreto en Granada, el agua era un elemento esencial de la arquitectura. Las viviendas se organizaban entorno a un patio con vegetación y agua, en fuentes o en canalizaciones, que producían un microclima suave y fresco que contrastaba con los días calurosos del sur peninsular.

Sin embargo, para el calentamiento y la refrigeración de espacios son más adecuados los materiales con un punto de fusión en la temperatura ambiente deseada, que debe ser mantenida mientras la temperatura exterior sube o baja. Teniendo en cuenta que nos interesan temperaturas entre los 20°C y los 35°C, existen dos tipos de materiales con el punto de fusión apropiado: los PCM orgánicos, que son moléculas de hidrocarburos de cadena larga, parafina e hidrato de cloruro de calcio ($\text{CaCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), con un punto de fusión de 27°C; y el decahidrato de sulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), con un punto de fusión de 32°C.

Es un producto aún en desarrollo y poco comercializado. Las principales casas comerciales lo ofrecen integrado en paneles de yeso laminado, para mantener la temperatura constante en los tabiques y trasdosados de fachada. El PCM en planchas aún es un producto caro, aunque cuando se vaya perfeccionando y utilizando será una gran herramienta para viviendas pasivas.



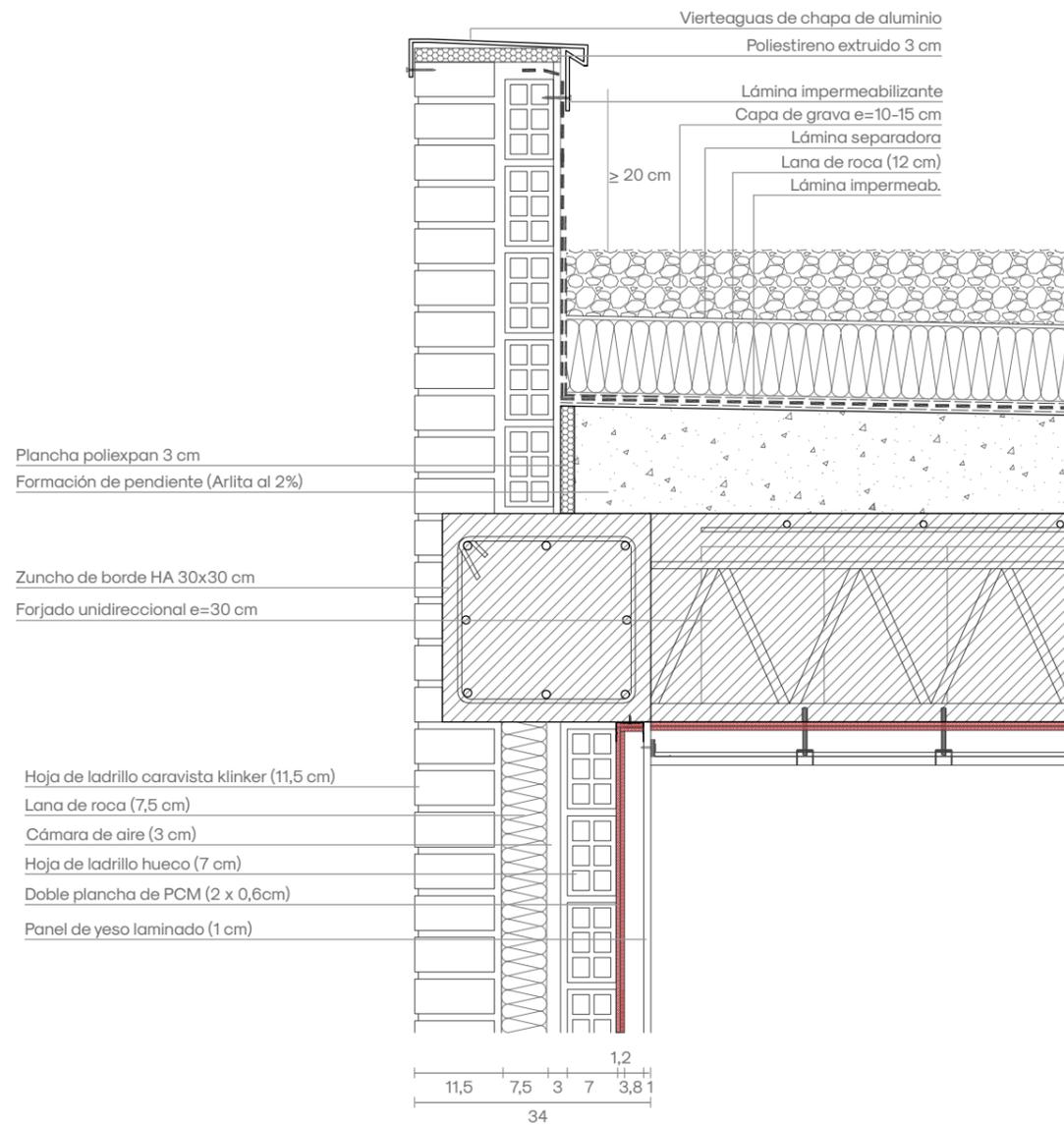
Gestión de la temperatura en la zona de confort



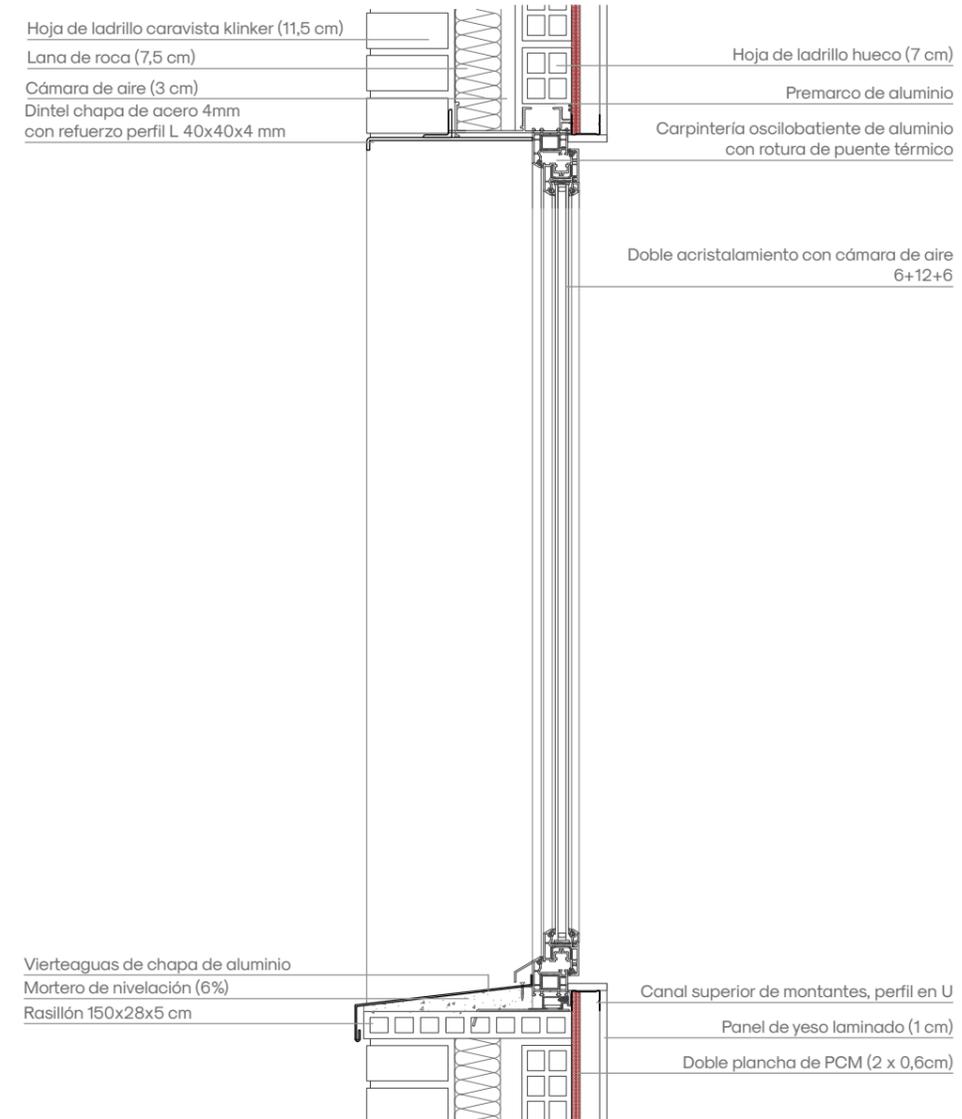
Paneles de yeso laminado con PCM, marca Knaufl®

CASO 5: PCM (MATERIAL DE CAMBIO DE FASE)

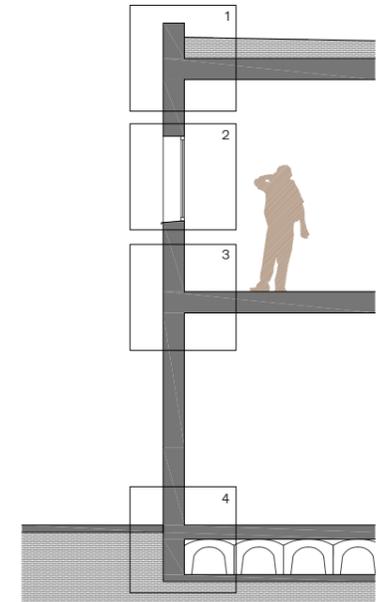
DETALLES 1 Y 2



Detalle 1: Encuentro de cubierta invertida no transitada y fachada capuchina + Trasdoso de PCM
Escala 1:10



Detalle 2: Ventana practicable en fachada capuchina + Trasdoso de PCM
Escala 1:10



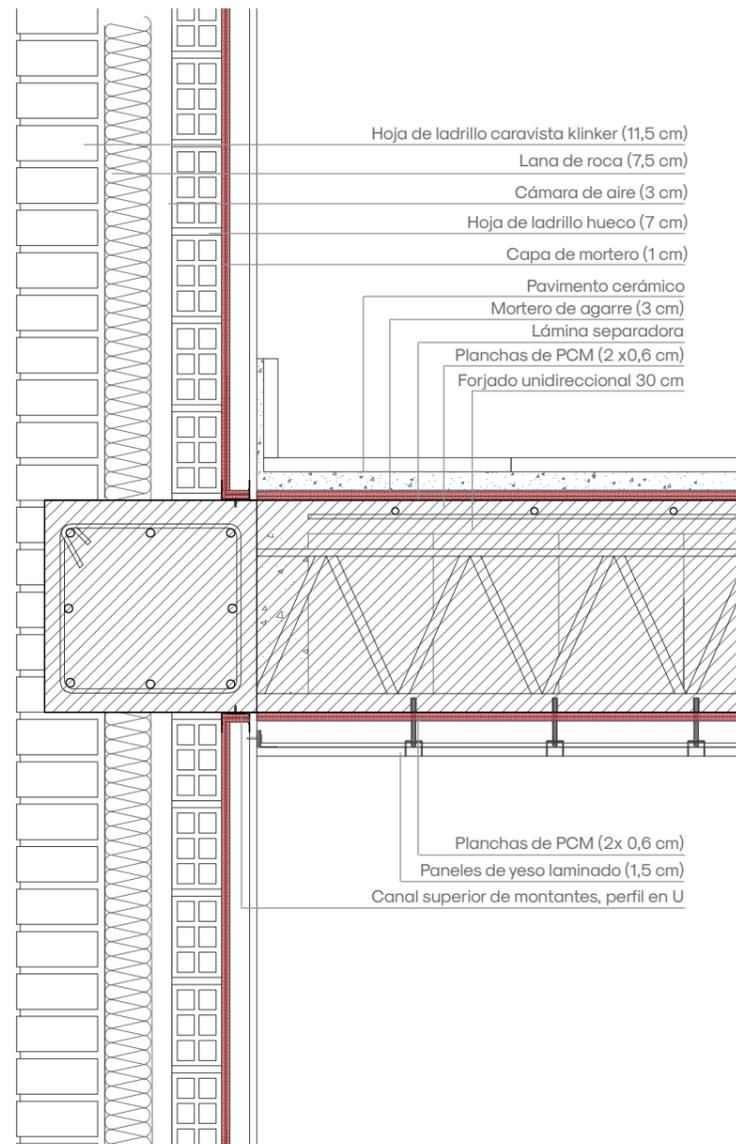
El PCM se coloca en unas láminas de 0,6 cm de espesor, por lo que colocamos doble capa para ver mejor los resultados.

Este material lo comercializan introducido en paneles de yeso laminado para trasdosados y tabiques. Sin embargo, en este caso colocaremos los paneles de PCM directamente.

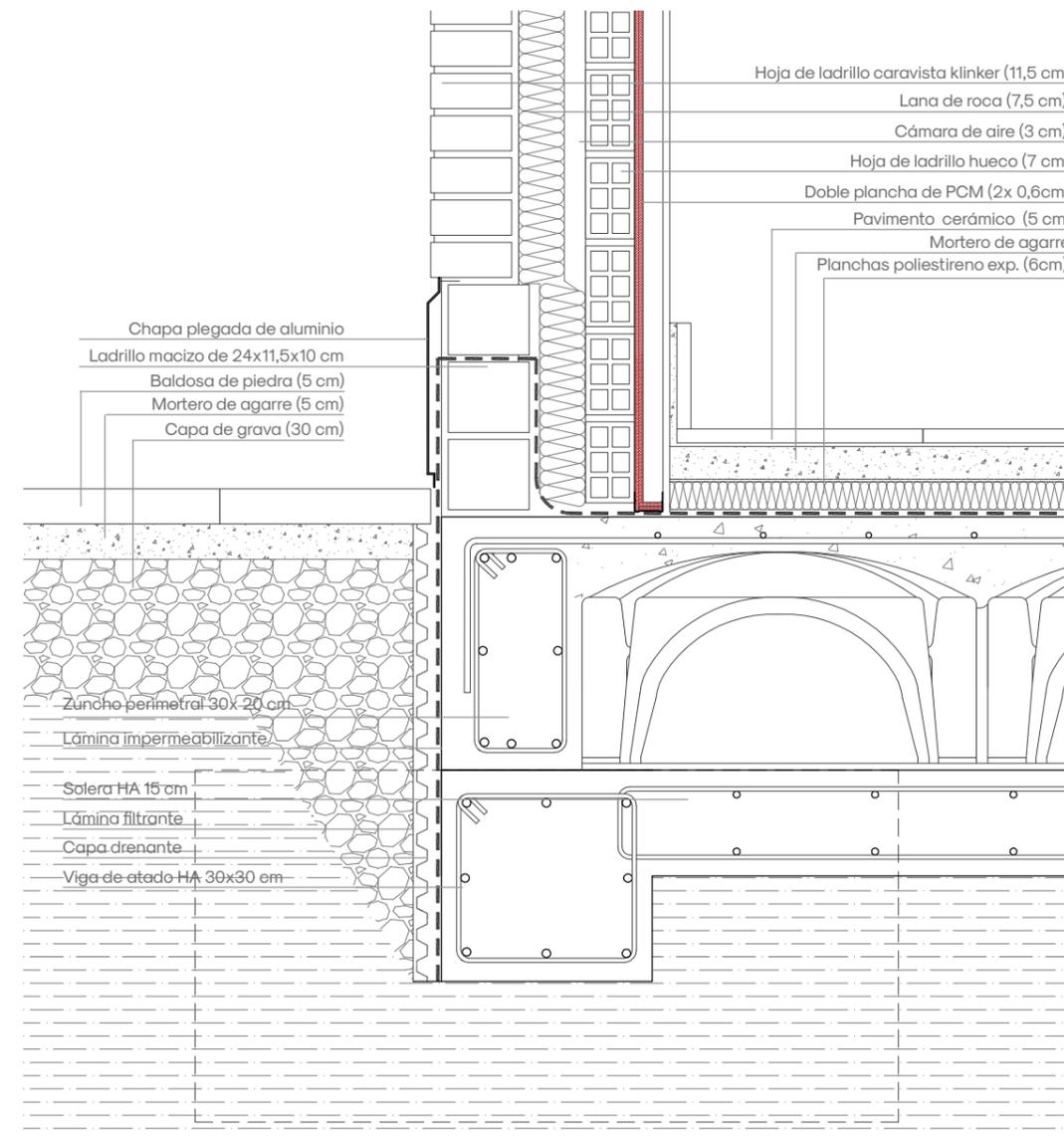
Al igual que en el aislamiento en trasdosado interior, se deben cerrar al máximo los encuentros para cerrar los puentes térmicos que se han dado en el Caso 1.

CASO 5: PCM (MATERIAL DE CAMBIO DE FASE)

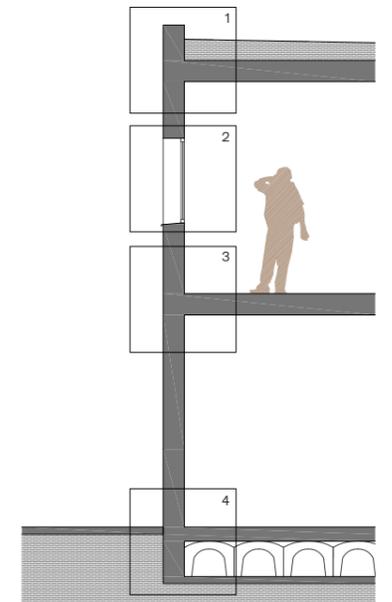
DETALLES 3 Y 4



Detalle 3: Encuentro de forjado intermedio con fachada capuchina + Trasdoso de PCM
Escala 1:10



Detalle 4: Encuentro de fachada capuchina+PCM con el terreno y forjado antihumedad
Escala 1:10

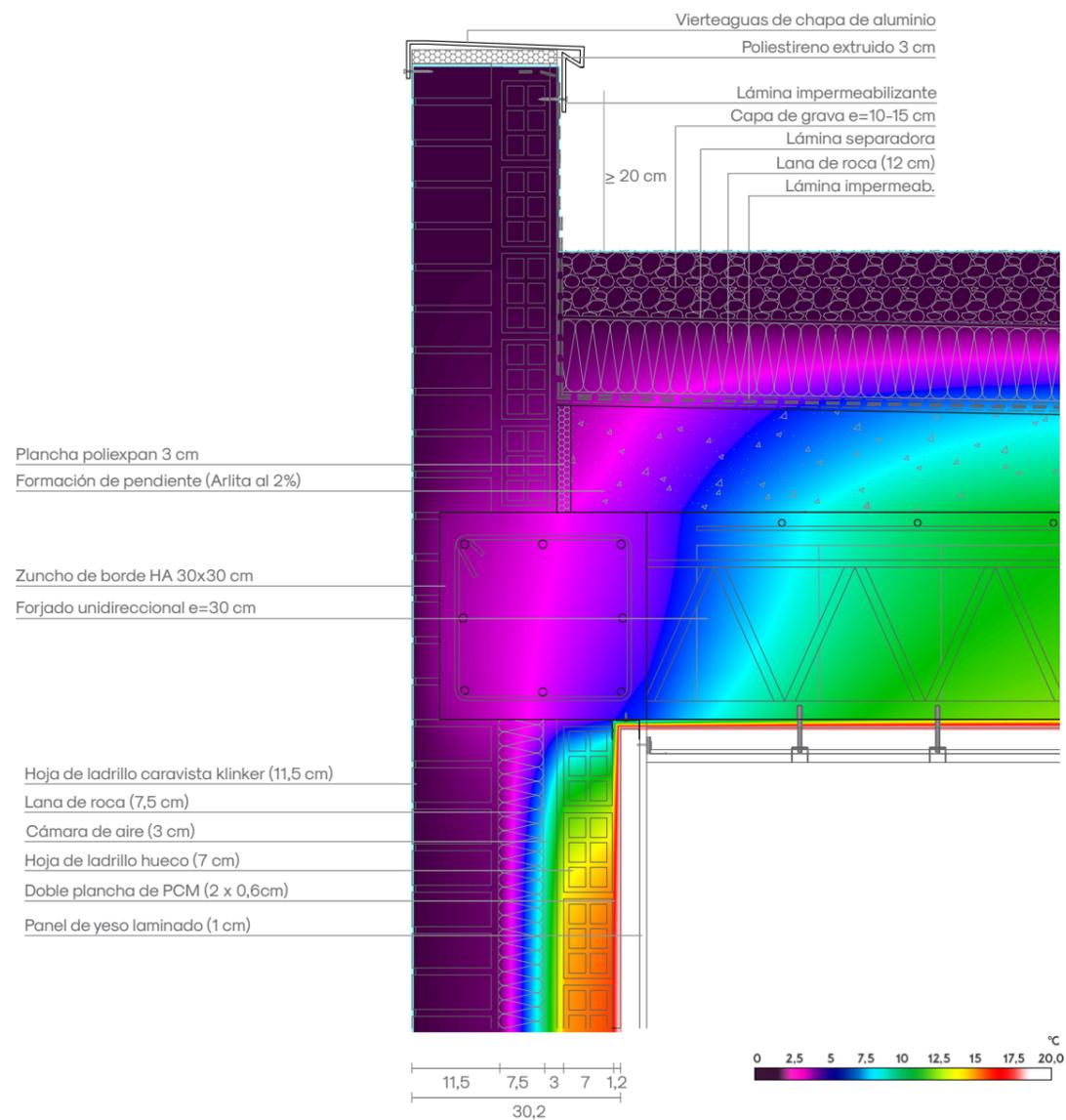


Para el forjado en contacto con el terreno se decide dejar el mismo que en los otros casos. Sólo en los elementos en contacto directo con el aire exterior se coloca el PCM.

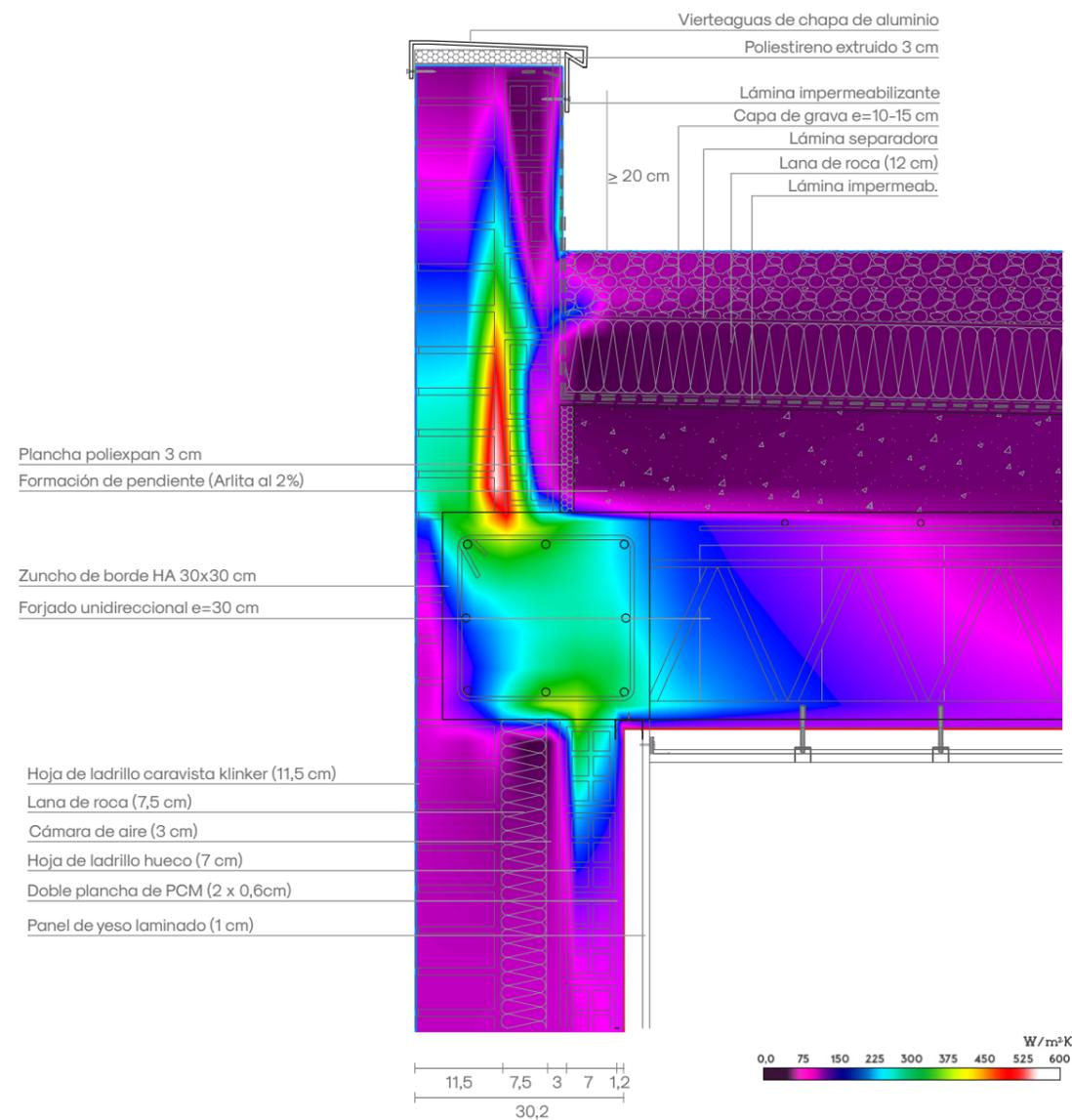
Aun así, en todos los encuentros se cubre bien con aislamiento, incluso en el espesor del hueco que deja el trasdosado.

CASO 5: PCM (MATERIAL DE CAMBIO DE FASE)

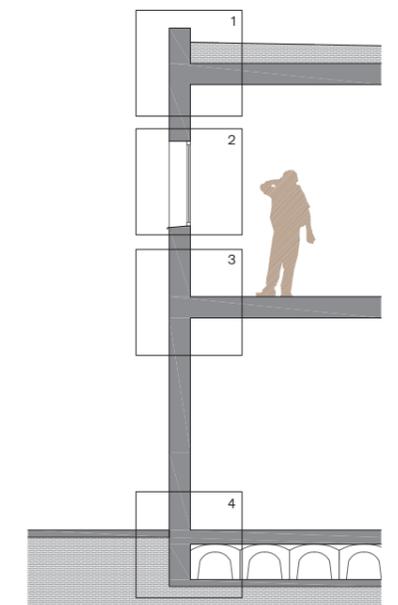
TERMOGRAFÍA DETALLE 1



Detalle 1.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 1.
Escala 1:10



Detalle 1.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 1.
Escala 1:10



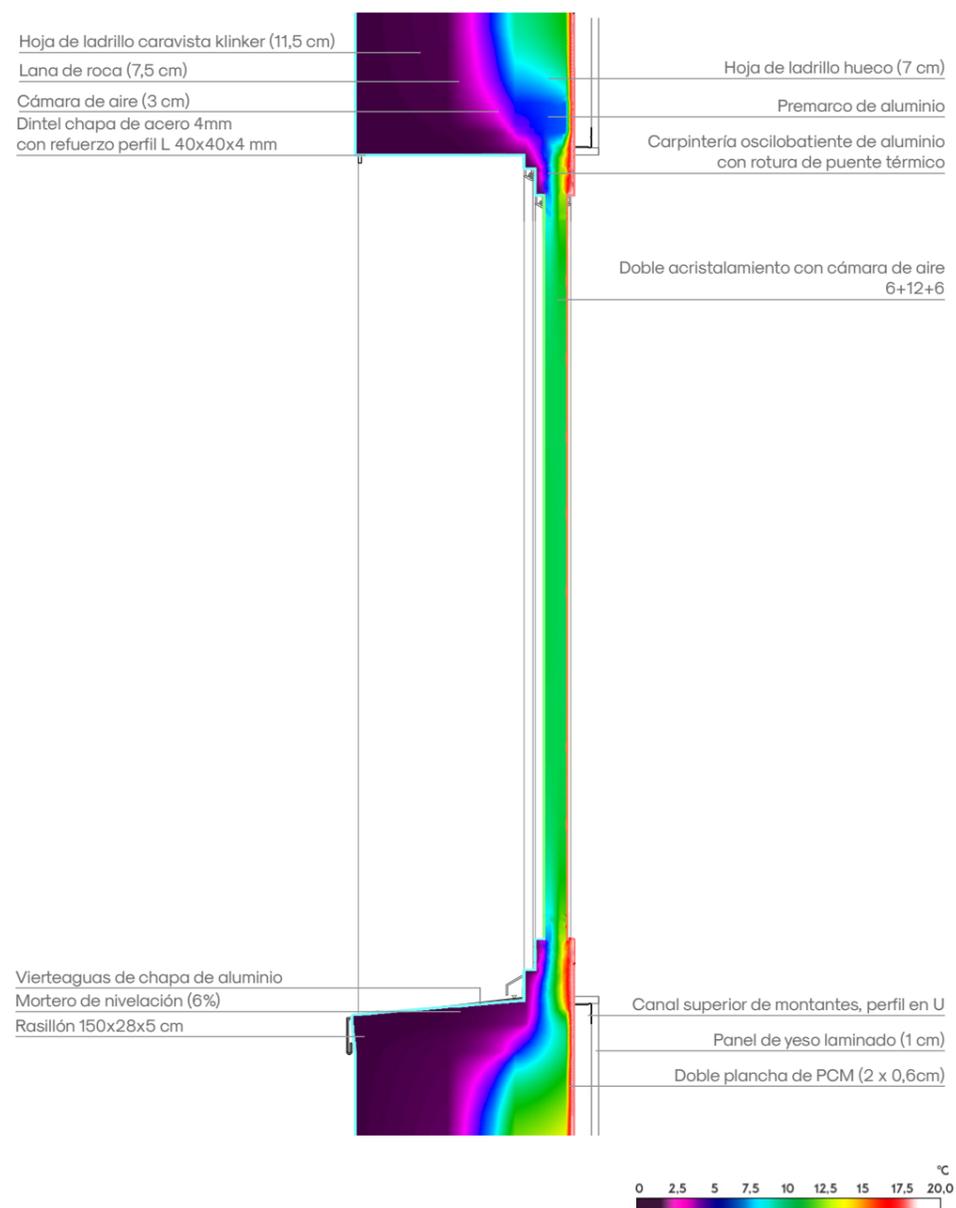
Observaciones:

- Aunque es difícil de apreciar, hay un cambio brusco de temperatura en los 1,2 cm del PCM. La franja de colores del blanco al verde queda acumulada en este espacio, lo que indica que retiene mucho el calor.

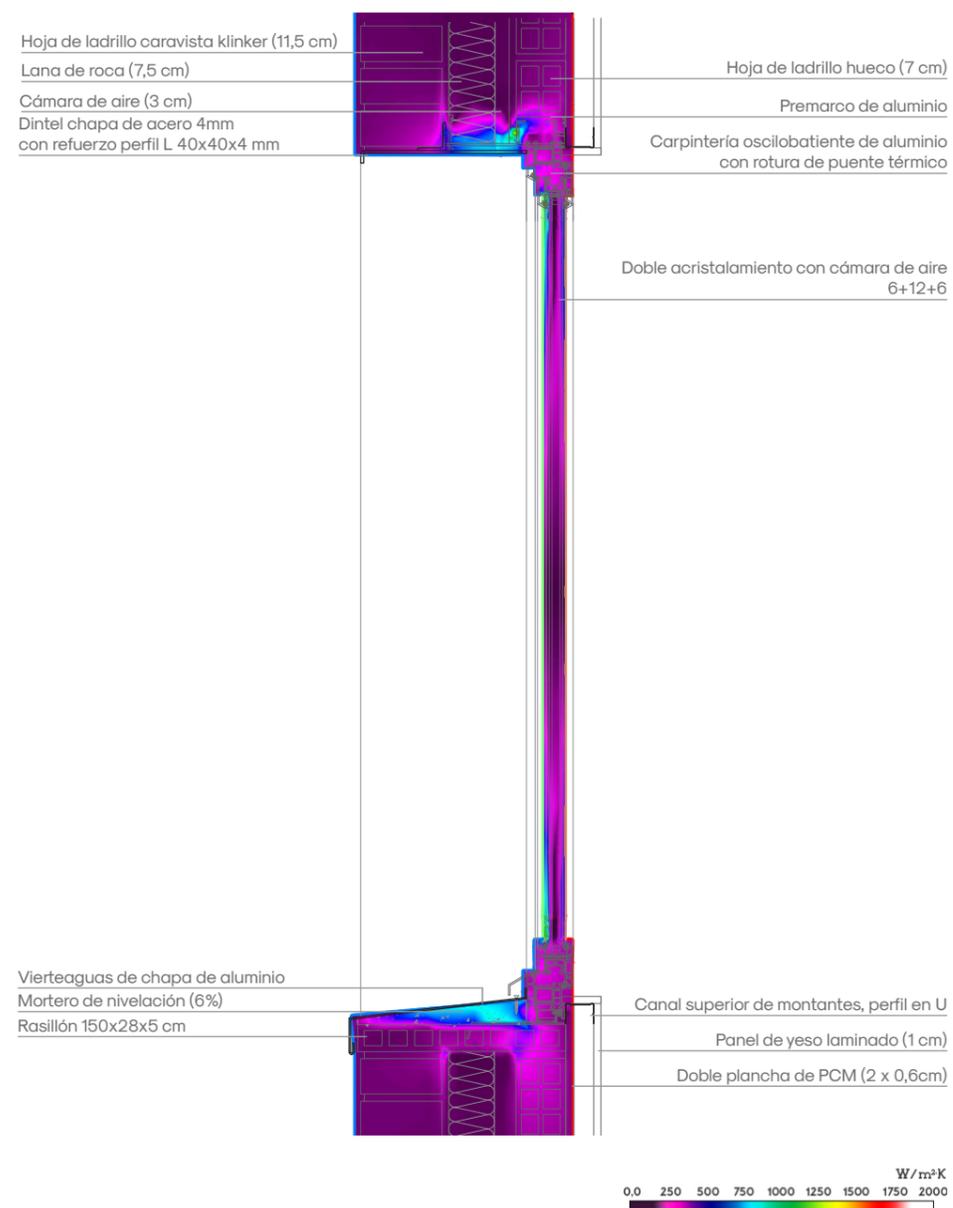
- El flujo de calor también se ve interrumpido bruscamente en esa estrecha franja, pasando del verde al morado.

CASO 5: PCM (MATERIAL DE CAMBIO DE FASE)

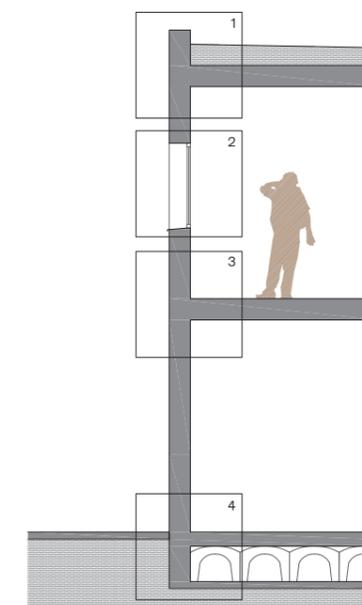
TERMOGRAFÍA DETALLE 2



Detalle 2.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 2. Escala 1:10



Detalle 2.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 2. Escala 1:10

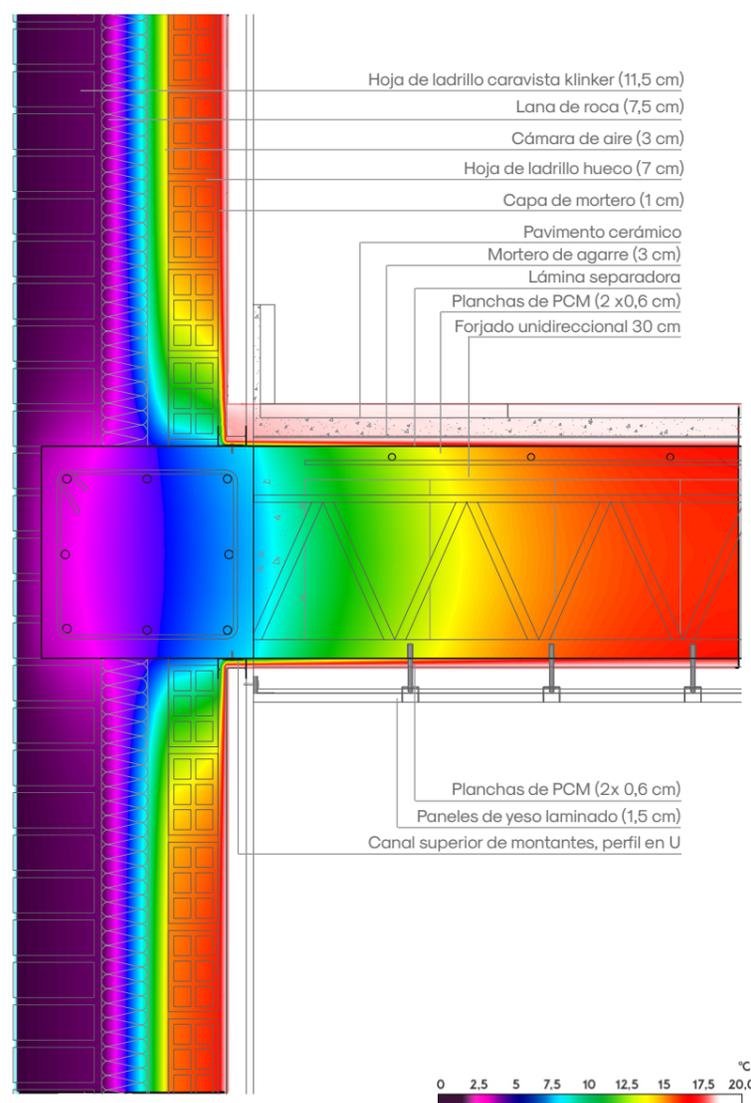


Observaciones:

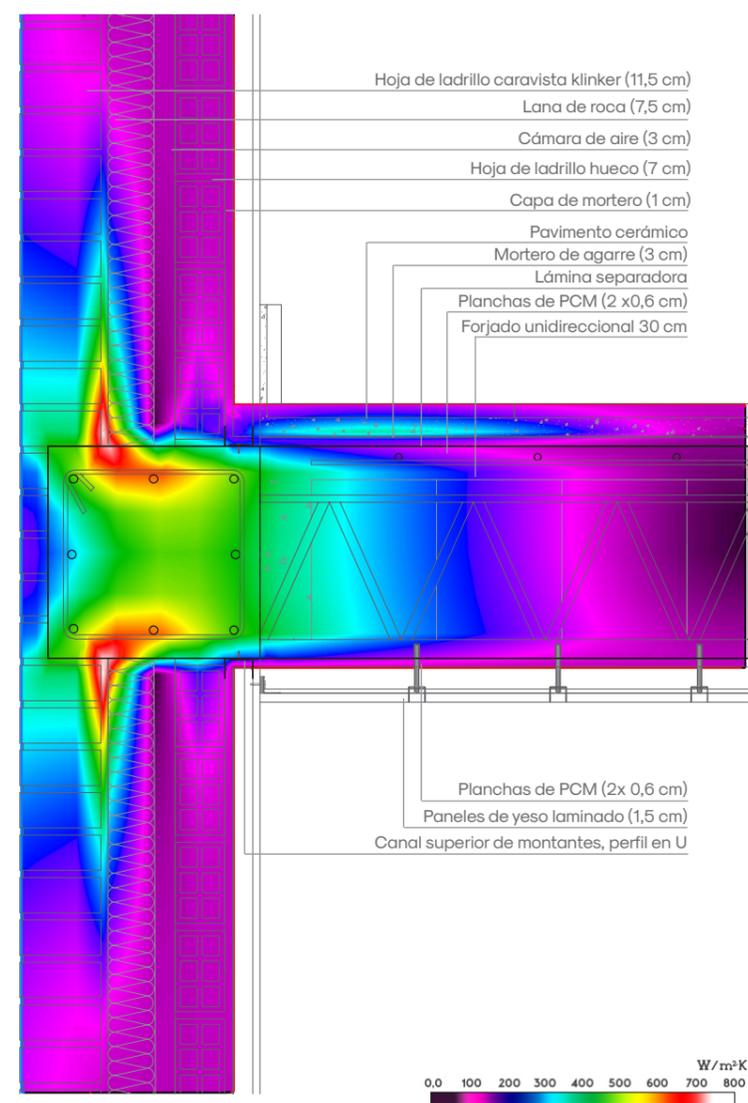
- Apenas se aprecian cambios, únicamente el puente térmico a través del rasillón del alfeizar se ve minimizado por el PCM. También el puente que hay a través del premarco y la chapa del dintel.

CASO 5: PCM (MATERIAL DE CAMBIO DE FASE)

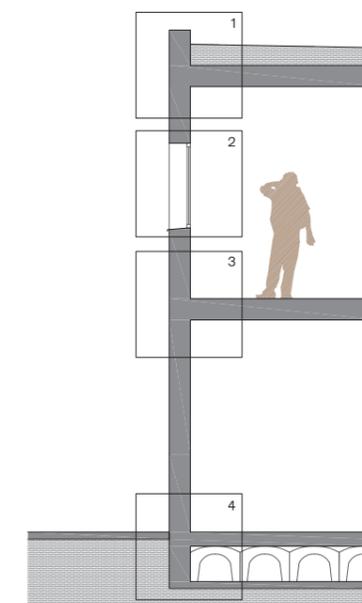
TERMOGRAFÍA DETALLE 3



Detalle 3.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 3.
Escala 1:10



Detalle 3.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 3.
Escala 1:10

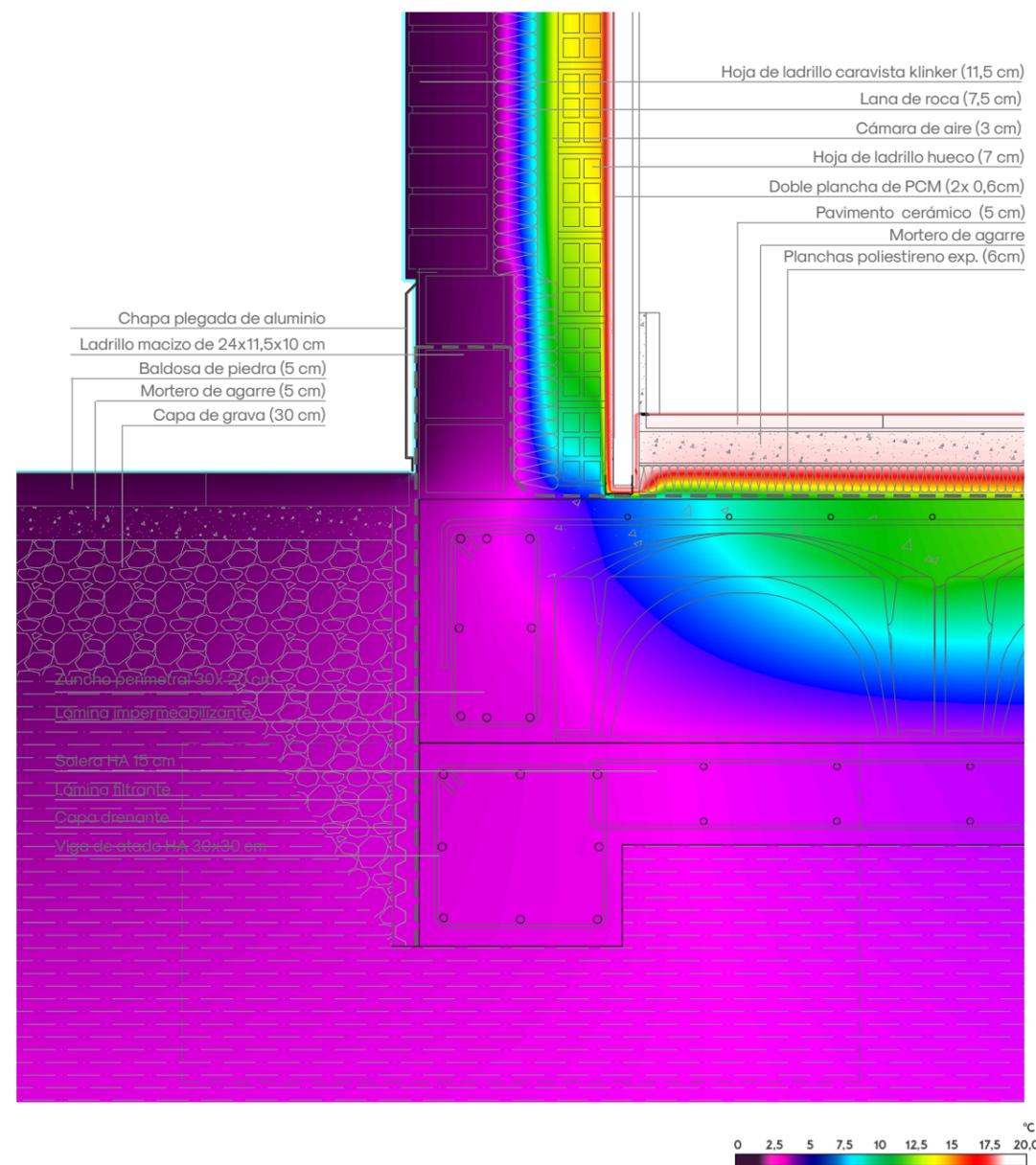


Observaciones:

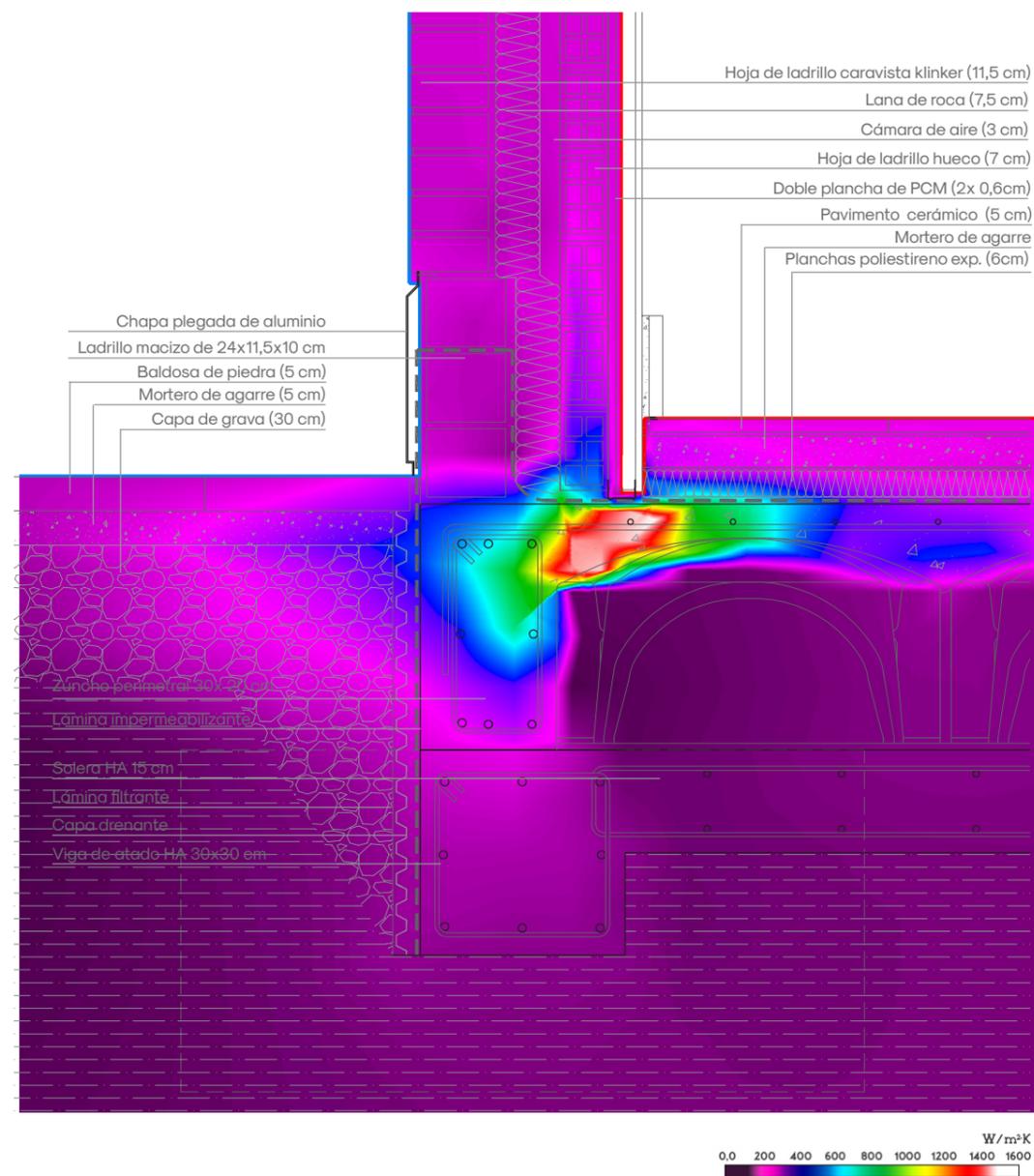
- El puente térmico que hay a través de la viga y el forjado se ve interrumpido en la capa de PCM.
- La temperatura exterior, sea de calor o de frío, influirá en el estado del PCM, sea pasando a estado sólido o líquido, pero manteniendo la temperatura interior constante.

CASO 5: PCM (MATERIAL DE CAMBIO DE FASE)

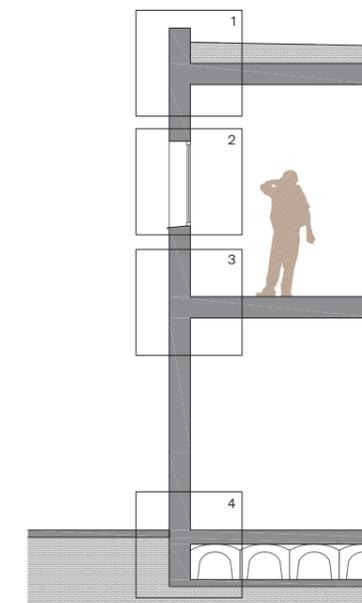
TERMOGRAFÍA DETALLE 4



Detalle 4.1.: Gráfico de temperatura por escala de color en Detalle 4.
Escala 1:10



Detalle 4.2.: Gráfico de intensidad de flujo de calor por escala de color en Detalle 4.
Escala 1:10



Observaciones:

- El flujo de calor queda atrapado en el hormigón de cimentación, como ocurre en el trasdosado interior del caso anterior.
- Se puede ver que el cambio brusco de colores en el aislamiento de PCM es mucho mayor que en las planchas de poliestireno.

BALANCE ENERGÉTICO DEL MODELO EN LOS CASOS DE ESTUDIO

Software PHPP

INFORMACIÓN GENERAL DEL MODELO EN PHPP

HERRAMIENTA PHPP

La herramienta PHPP es un software desarrollado por el Instituto Passivhaus, compuesto de una serie de hojas de cálculo diseñadas para realizar una planificación energética del edificio. Haciendo un balance de la energía que demanda el edificio y la que se obtiene, con el fin de mantener un equilibrio de temperatura en el interior, el programa indica la energía que necesita aportar mediante calefacción para mantener una temperatura constante.

PHPP compara estos resultados con los valores de referencia que ellos establecen para tener un edificio pasivo o de gasto casi nulo (demanda energética menor de 15 kWh/(m²año) y/o la carga de calefacción menor a 10 W/m²). En nuestro caso, el objetivo es comparar cada uno de los sistemas constructivos expuestos, y además comprobar y alcanzan el estándar Passivhaus. Partiendo de las mismas condiciones (lugar geográfico, carpintería y vidrio de ventana, etc.) se puede obtener unos datos resolutivos y contrastables.

EL CLIMA SEGÚN CTE Y PHPP

El edificio se sitúa en Granada, que partiendo del CTE-HE se sitúa en una zona C3. Por ello, el CTE establece un límite de transmitancia térmica en cada elemento de la envolvente:

0,75 W/m²K: muros y elem. en contacto con el terreno.
0,50 W/m²K: cubiertas y suelos en contacto con el aire.
3,10 W/m²K: huecos.

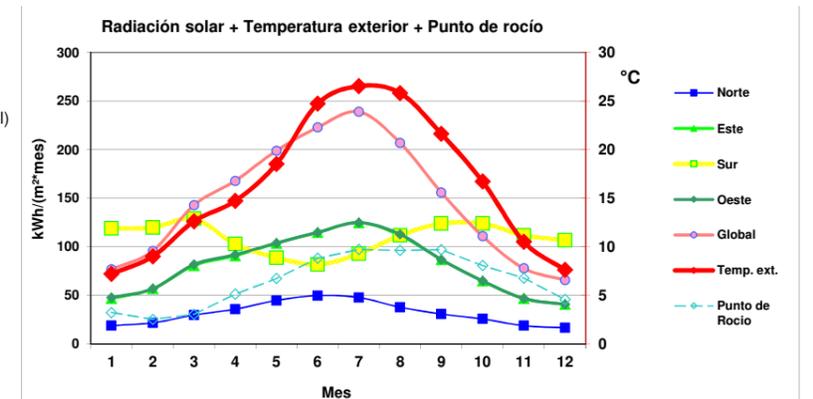
PHPP tiene una base de datos de los climas de muchas ciudades, incluida Granada. No establece un límite de transmitancia de cada cerramiento, aunque es preciso calcularlos y cumplir el estándar Passivhaus.

El software parte de una temperatura de confort de 20°C en invierno y 25°C en verano. La ocupación de la que partimos es de 8 personas en una superficie de referencia energética (superficie útil) de 273,8 m² (136,9m² x 2plantas), lo que equivale a una ocupación de 35 m²/persona y que proporciona unas ganancias de 2,1W/m².

Datos básicos			
Edificio, nombre del proyecto		Modelo teórico 1	
Calle:		Granada	
CP / Ciudad:		España	
País:		Vivienda adosada	
Tipo de edificio:		España	
Clima: región / conjunto de datos climáticos		[ES] - Granada, Granada C3	
Clima: grados día / altitud		36 kWh/a	559 m
Tipo de edificio / avance de obra		Vivienda unifamiliar aislada	Completado
Contexto de desarrollo urbano		Desarrollo suburbano	
Tipo de edificio / construcción		Edificio Passivhaus nuevo	Construcción masiva
Categoría energética del edificio		Passivhaus	
Año de construcción / año de construcción de edificio existente		2017	
Cantidad de unidades vivienda / unidades no-residenciales		1 Un. viv.	
Ocupación estándar / proyectada		8 P	
Ocupación estándar / relación de ocupación proyectada		35 m ² /P	
Propietario / cliente:		E.T.S.Arquitectura	
Arquitecto		José Manuel Caridad Casado	
Temperatura interior invierno / verano:		20 °C	25 °C
GIC verano / invierno		2,1 W/m ²	2,1 W/m ²
Tipo de certificación		Passivhaus	
Certificación del proyecto / ID de certificación		sí	PHI_02450348_249852
Organismo certificador		Passivhaus Institut	
Versión PHPP / Número de registro PHPP		Versión 8.4.1	

Planificación Passivhaus: DATOS CLIMÁTICOS

Edificio:	Modelo teórico 1	Transferencia método anual (Calefacción anual)	
Clima de referencia	[ES] - Granada, Granada C3	CalDías	127 d/a
Datos mensuales:	[ES] - Granada, Granada C3	G _t	36 kWh/a
Datos anuales:		Norte	82 kWh/(m ² a)
Utilizar Datos climáticos anuales	no	Este	207 kWh/(m ² a)
Resultados:		Sur	461 kWh/(m ² a)
Demanda de calefacción		Oeste	209 kWh/(m ² a)
Carga de calefacción		Horizontal	347 kWh/(m ² a)
Energía primaria			



Parámetros para el cálculo de las temperaturas del terreno en el PHPP.	Mes	Carga de calefacción												Carga de refrigeración			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sit. met.1	Sit. met. 2	Sit. met.1	Sit. met. 2
Cambio mensual de fases	[ES] - Granada, Granada C3	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	4,0	9,4	30,0	30,0
Amortiguación	Latitud °	37,2	Longitud °	-3,8	Altitud (m)	559	Fluctuación diaria de la temperatura en verano (K)	15,6	Datos radiación:	kWh/(m ² mes)	Radiación: W/m ²		Radiación: W/m ²				
Profundidad m	Temp. ext.	7,2	9,0	12,6	14,7	18,5	24,7	26,5	25,8	21,6	16,7	10,5	7,6	4,0	9,4	30,0	30,0
[ES] - Albacete, Albacete D3	Norte	19	22	30	36	45	50	48	38	31	26	19	17	19	20	90	90
1,00	Este	47	57	81	91	104	115	125	112	87	65	47	41	68	27	198	198
1,00	Sur	119	120	129	103	89	82	93	112	124	124	112	107	182	54	168	168
1,00	Oeste	48	57	82	92	104	115	125	113	87	65	47	41	61	29	198	198
1,00	Global	77	96	143	168	199	223	239	207	156	111	78	66	105	55	362	362
1,00	Punto de Rocío	3,3	2,6	3,1	5,1	6,8	8,8	9,7	9,6	9,7	8,1	6,8	4,6			12,7	12,7
1,00	Temperatura del cielo	-6,2	-4,1	-2,2	0,5	3,3	7,7	10,3	10,1	8,3	3,0	-1,6	-5,1			8,9	12,7
1,00	Temperatura terreno	15,6	14,7	14,8	15,8	17,4	19,3	20,9	21,7	21,7	20,7	19,0	17,2	14,3	14,3	22,2	22,2

CASO 1: CUBIERTA INVERTIDA - FACHADA CAPUCHINA TRADICIONAL - FORJADO ANTIHUMEDAD

SUPERFICIES Y TRANSMITANCIAS

TRANSMITANCIAS DE LA ENVOLVENTE

Fachada capuchina

Resistencia térmica superficial [m ² K/W]	interior R _{si} :	0,13
	exterior R _{se} :	0,04

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Acabado de yeso	0,180	10
2. Ladrillo hueco	0,800	70
3. Cámara de aire	0,180	30
4. Lana de roca	0,035	75
5. Ladrillo caravista	0,700	115

Valor-U:	0,359 W/(m ² K)	Total	30,0 cm
----------	----------------------------	-------	---------

Cubierta invertida

Resistencia térmica superficial [m ² K/W]	interior R _{si} :	0,10
	exterior R _{se} :	0,04

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Forjado unidir.	0,500	300
2. Formación pte Arlita	0,110	100
3. Aislam. Poliuretano	0,035	120
4. Grava	1,210	130

Valor-U:	0,193 W/(m ² K)	Total	65,0 cm
----------	----------------------------	-------	---------

Forjado sanitario

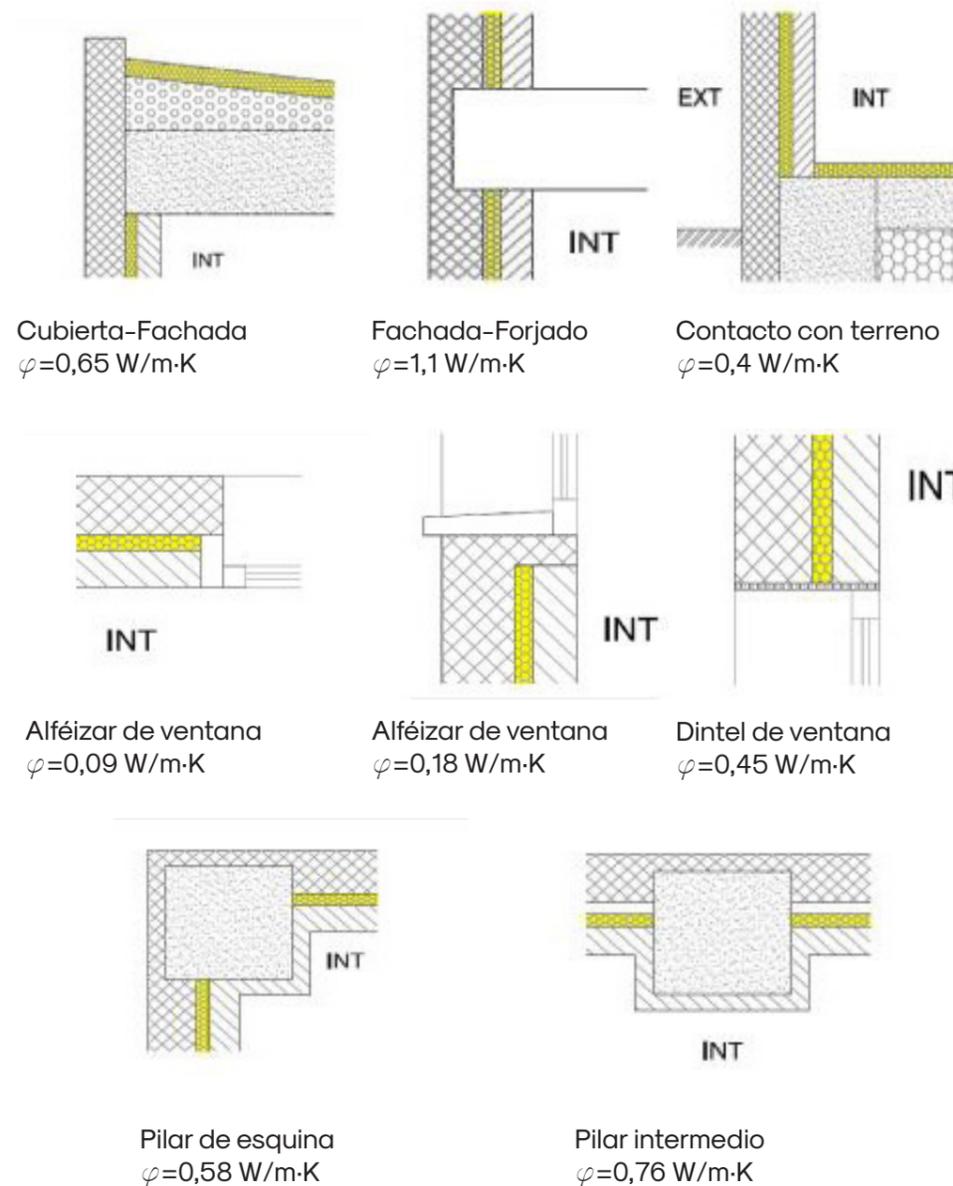
Resistencia térmica superficial [m ² K/W]	interior R _{si} :	0,17
	exterior R _{se} :	0,04

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Pavimento cerámico	0,130	20
2. Mortero	1,400	80
3. Aislam. Poliuretano	0,035	60
4. Hormigón compresión	2,100	90
5. Cámara aire cavitati	0,220	400
6. Losa 15 cm	2,100	150

Valor-U:	0,246 W/(m ² K)	Total	80,0 cm
----------	----------------------------	-------	---------

LISTA DE PUENTES TÉRMICOS Y TRANSMITANCIAS

Tomamos los puentes térmicos analizados en las termografías. El valor de flujo de calor en los puentes térmicos, medido en W/m·K, se ha obtenido del programa de certificación energética CE₃X, que incluye una base de datos con los distintos puentes térmicos posibles en la envolvente del edificio. Ese dato se introduce en la tabla de cada puente térmico, además de la superficie estimada en cada uno. Estos son los puentes térmicos considerados en el CASO 1:



ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES DEL EDIFICIO

Las superficies del edificio se obtienen partiendo del modelo de estudio creado en la presentación de la investigación. La superficie de referencia energética (SRE) equivale a la superficie útil del edificio, por lo que se estima que tiene dos plantas y se reduce 30 cm en el perímetro del edificio para el cerramiento. Este dato sale de 273,80 m².

A la superficie de la envolvente se le añade la de la ventana, de 1,50x1,20 m² y la de los puentes térmicos, que se detallan en la tabla a continuación.

CUADRO DE SUPERFICIES GENERAL

Superficie de envolventes

Nr. de grupos	Grupo de superficies	Zona de temperatura	Superficie	Unidad
1	SRE (sup. de referencia energética)		273,80	m ²
2	Ventanas al norte	A	0,00	m ²
3	Ventanas al este	A	0,00	m ²
4	Ventanas al sur	A	1,80	m ²
5	Ventanas al oeste	A	0,00	m ²
6	Ventanas horizontales	A	0,00	m ²
7	Puerta exterior	A	0,00	m ²
8	Muro ext. - aire ext.	A	286,20	m ²
9	Muro ext. - terreno	B	0,00	m ²
10	Techo / cubierta - Aire ext.	A	144,00	m ²
11	Solera / losa piso / forjado sanitario	B	144,00	m ²

Puentes térmicos

15	PTs ambiente exterior	A	144,60	m
16	PTs perimetrales en el zócalo	P	0,00	m
17	PTs solera / forjado sanitario / losa	B	48,00	m
18	Muro divisorio entre viviendas	I	0,00	m ²
Total de la envolvente térmica			576,00	m²

CUADRO DE PUENTES TÉRMICOS

Nr.	PTs, determinación de detalle de conexión o de defecto constructivo	Cantidad	Longitud determinada por el usuario [m]	Longitud ℓ [m]	Ψ W/(mK)
1	Pte cubierta fachada	1	48,00	48,00	0,650
2	Pte forjado sanitario fachada	1	48,00	48,00	0,400
3	Pte alféizar	1	1,50	1,50	0,180
4	Pte forjado intermedio	1	48,00	48,00	1,100
5	Pte dintel	1	1,50	1,50	0,450
6	Pte jambas ventana	2	1,20	2,40	0,090
7	Pilares intermedios	8	2,70	21,60	0,760
8	Pilares esquina	8	2,70	21,60	0,580

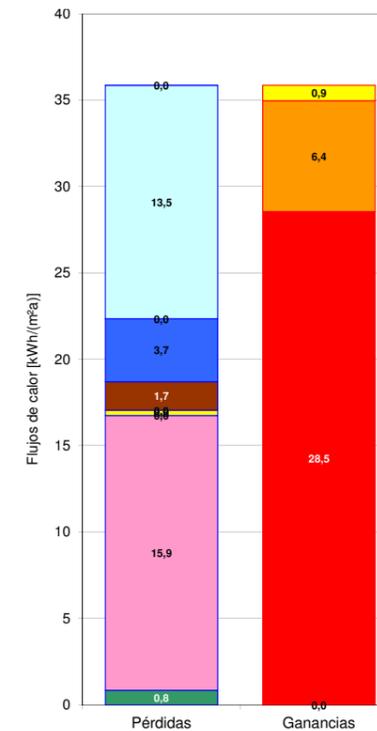
CASO 1: CUBIERTA INVERTIDA - FACHADA CAPUCHINA TRADICIONAL - FORJADO ANTIHUMEDAD

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓN CASO 1

Elemento constructivo	Zona de temperatura	Superficie m ²	Valor-U W/(m ² K)	Fact temp. f _t	G _t kWh/a	Por m ² de SRE kWh/a	
Muro ext. - aire ext.	A	286,2	0,359	1,00	36,0	13,50	
Muro ext. - terreno	B			0,36			
Techo / cubierta - Aire ext.	A	144,0	0,193	1,00	36,0	3,65	
Solera / losa piso / forjado sanitario	B	144,0	0,246	0,36	36,0	1,65	
	A			1,00			
	A			1,00			
	X			0,75			
Ventanas	A	1,8	1,285	1,00	36,0	0,30	
Puerta exterior	A			1,00			
Puentes térmicos exteriores (longitud)	A	144,6	0,789	1,00	36,0	15,00	
Puentes térmicos perímetro (longitud)	P			0,36		0,00	
Puentes térmicos piso (longitud en m)	B	48,0	0,400	0,36	36,0	0,90	
Total de superficies de la envolvente térmica		576,0					
Pérdidas de calor por transmisión Q_T					Total	9587	35,0
Sistema de ventilación:		Caudal de aire efectivo V _v m ³		A _{SRE} m ²	Altura libre habitación m	m ³	
Rendimiento del recuperador de calor de la recuperación de calor		η _{ref} 82%		273,8	2,70	739,3	
Eficiencia de recuperación de calor del intercambiador tierra-aire (ITA)		η _{ITA} 69%					
Tasa de renovación de aire energéticamente efectiva n _{vent}		0,300		0,95	0,010	0,026	
Pérdidas de calor por ventilación Q_{Vent}		V _v m ³	n _v 1/h	C _{aire} Wh/(m ³ K)	G _t kWh/a	kWh/(m ² a)	
		739,3	0,026	0,33	36,0	230	
Pérdidas de calor totales Q_P		Q _T kWh/a		Factor de reducción Noche y fin de semana Ahorro		kWh/(m ² a)	
		(9587)		1,0		9816	
Ganancias de calor por radiación solar Q_S		Orientación de la superficie		Factor de reducción Compare c/ hoja Ventana		Valor g (Radiación perpendicular) Superficie Radiación global período calefacción	
1. Norte		0,00		0,00		0,00	
2. Este		0,00		0,00		0,00	
3. Sur		0,46		0,64		1,80	
4. Oeste		0,00		0,00		0,00	
5. Horizontal		0,00		0,00		0,00	
Ganancias de calor por radiación solar Q_S		Total		244		0,9	
Ganancias internas de calor (GICs) Q_I		kh/d	Periodo calefacción anual día	Potencia esp. q _i W/m ²	A _{SRE} m ²	kWh/a	
		0,024	127	2,10	273,8	1758	
Calor disponible Q _{disponible}		Q _S + Q _I		=		2002	
Relación entre calor disponible y pérdidas calor		Q _{disp} / Q _P		=		0,20	
Aprovechamiento efectivo de las ganancias de calor η _G		(1 - (Q _{disp} / Q _P) ⁵) / (1 - (Q _{disp} / Q _P) ⁶)		=		100%	
Ganancias de calor Q_G		η _G · Q _{disponible}		=		2001	
Demanda de calefacción Q_{Cal}		Q _P - Q _G		=		7815	
Valor máx. permitido kWh/(m ² a)		15		¿Requerimiento cumplido?		no	

Balance energético demanda de calefacción (al año)



Leyenda

- Ganancias de calor no utilizables
- Muro ext. - aire ext.
- Techo / cubierta - Aire ext.
- Solera / losa piso / forjado sanitario
- Ventanas
- Pérdidas de calor por puentes térmicos
- Ventilación
- Ganancias solares
- Ganancias internas de calor
- Demanda de calefacción

RESULTADOS CASO 1 (DATOS DE REFERENCIA):

Pérdidas en cerramiento: 5.150 kWh/año

Pérdidas en puentes térmicos: 4354 kWh/año

Pérdidas totales: 9587 kWh/año

Pérdidas totales por m² de SRE: 35 kWh/(m²·año)

Demanda de calefacción necesaria: 29 kWh/(m²·año)

¿Cumple el criterio Passivhaus?: No

CONCLUSIONES:

- Existe una importante pérdida de energía a través de los puentes térmicos, especialmente a través de la estructura empotrada en el cerramiento y que interrumpe el paso del aislante térmico interior de la capuchina.

- El cerramiento de fachada capuchina en sí mismo, sin contar con los puentes térmicos, es aceptable y cumple con holgura los límites del Código Técnico de la Edificación.

- Hay una alta demanda de calefacción por m² debido principalmente a las pérdidas de energía por la envolvente del edificio. Al estandarizar los valores de ventilación y colocar una ventana de buenas prestaciones, se puede comprobar como casi la mitad de la energía se pierden por los puentes térmicos. Una de las claves para conseguir un modelo de vivienda de gasto mínimo es la continuidad del aislamiento por toda la envolvente, y en este caso se ve hasta qué punto es necesario.

CASO 2: SISTEMA ELESDOPA

SUPERFICIES Y TRANSMITANCIAS / CONECTORES

TRANSMITANCIAS DE LA ENVOLVENTE / CONECTORES

La envolvente de Elesdopa tiene una peculiaridad: no es una sección uniforme, sino que alterna espacios de fachada con relleno de poliuretano y conectores de HA que atraviesan toda la sección.

Para calcular la transmitancia térmica de las fachadas y de la cubierta, se calcula el % de superficie que ocupan los conectores y la sección tipo, y al obtener la transmitancia en cada sección, se introducen los datos en PHPP para calcular las pérdidas a través del cerramiento.

Se va a hacer tanto con los conectores como sin ellos, para ver hasta qué punto influyen en la pérdida de calor.

> CUBIERTA

Forjado Elesdopa +
Cubierta invertida

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Acabado de yeso	0,180	10
2. Cara int HA	2,100	50
3. Aislam. Poliuretano	0,035	200
4. Cara ext HA	2,100	50
5. Formación pte Arlita	0,110	100
6. Aislam. Poliuretano	0,035	120
7. Grava	1,210	130
Total		

interior R_{si} : 0,10
exterior R_{se} : 0,04

Valor-U: 0,096 W/(m²K) **66,0** cm

CASO 1: 0,193 65,0 cm

Conectores +
Cubierta invertida

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Acabado de yeso	0,180	10
2. Hormigón Armado	2,100	300
3. Formación pte Arlita	0,110	100
4. Aislam. Poliuretano	0,035	120
5. Grava	1,210	130
Total		

interior R_{si} : 0,10
exterior R_{se} : 0,04

Valor-U: 0,209 W/(m²K) **66,0** cm

CASO 1: 0,193 65,0 cm

> FACHADA

Fachada Elesdopa

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Acabado de yeso	0,180	10
2. Cara int HA	2,100	50
3. Aislam. Poliuretano	0,035	200
4. Cara ext HA	2,100	50
Total		

interior R_{si} : 0,13
exterior R_{se} : 0,04

Valor-U: 0,167 W/(m²K) **31,0** cm

CASO 1: 0,359 30,0 cm

Conectores de fachada

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Hormigón armado	2,100	300
2. Acabado de yeso	0,180	10
Total		

interior R_{si} : 0,17
exterior R_{se} : 0,04

Valor-U: 2,714 W/(m²K) **31,0** cm

CASO 1: 0,359 30,0 cm

> FORJADO EN CONTACTO CON EL TERRENO

Forjado sanitario Elesdopa

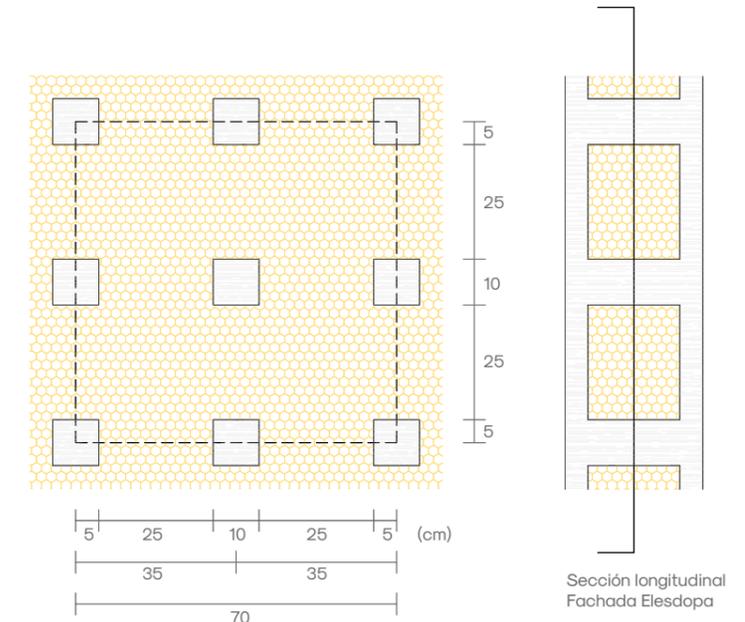
Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Pavimento cerámico	0,130	20
2. Mortero	1,400	80
3. Cara int HA	2,100	50
4. Arlita cámara aire	0,100	300
5. Cara ext HA	2,100	50
6. Losa 15 cm	2,100	150
Total		

interior R_{si} : 0,17
exterior R_{se} : 0,04

Valor-U: 0,282 W/(m²K) **65,0** cm

CASO 1: 0,246 80,0 cm

CÁLCULO DE SUPERFICIE DE CONECTORES



En el área de estudio:

$$\text{Área total de estudio: } 0,7 \times 0,7 = 0,49 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de conectores: } (0,1 \times 0,1) + 4(0,1 \times 0,05) + 4(0,05 \times 0,05) = 0,04 \text{ m}^2 \text{ (8,2\% del total)}$$

$$\text{Área de sección tipo: } 0,49 \text{ m}^2 - 0,04 \text{ m}^2 = 0,45 \text{ m}^2 \text{ (91,8\%)}$$

En el área total del modelo:

$$\text{Área total de fachada (sin incluir ventana): } 286,2 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de conectores: } 286,2 \times 8,2\% = 23,47 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de cubierta: } 144 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de conectores: } 144 \times 8,2\% = 11,80 \text{ m}^2$$

CASO 2: SISTEMA ELESDOPA

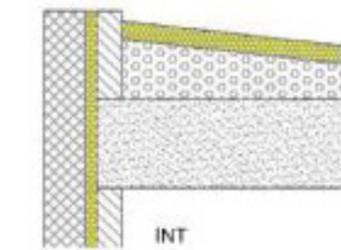
SUPERFICIES Y TRANSMITANCIAS / PUENTES TÉRMICOS

CRITERIO DE ELECCIÓN DE PUENTES TÉRMICOS

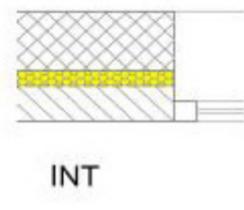
El sistema Elesdopa, al ser un modelo de cerramiento novedoso, no tiene estudios detallados de sus puentes térmicos con la profundidad que pueden tener otros sistemas de cerramiento. Partiendo de que los conectores los situamos en el apartado de Superficies de envolvente, tomamos como puentes térmicos aquellos puntos singulares por donde sea más fácil la fuga de calor.

Por ello, escogemos en CE3X los puentes térmicos más similares de la biblioteca de puentes térmicos, con el criterio de escoger el encuentro del aislamiento térmico en cada caso, en el apartado de aislamiento intermedio. Aunque no sea preciso, es una aproximación válida para calcular las transmitancias.

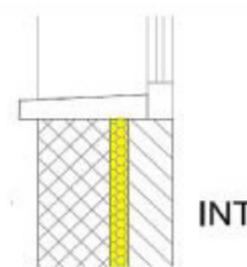
LISTA DE PUENTES TÉRMICOS Y TRANSMITANCIAS (CE3X)



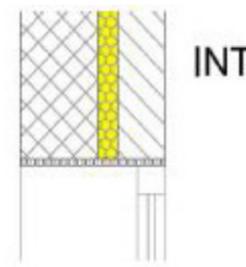
Cubierta-Fachada
 $\varphi=0,28 \text{ W/m}\cdot\text{K}$



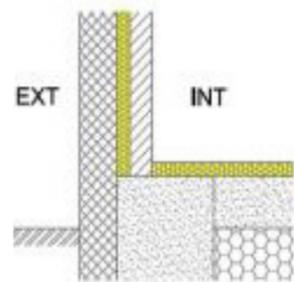
Jambas de ventana
 $\varphi=0,14 \text{ W/m}\cdot\text{K}$



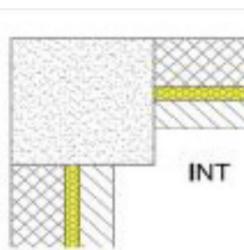
Alféizar de ventana
 $\varphi=0,10 \text{ W/m}\cdot\text{K}$



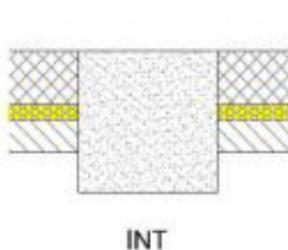
Dintel de ventana
 $\varphi=0,45 \text{ W/m}\cdot\text{K}$



Contacto con terreno
 $\varphi=0,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$



Pilar de esquina
 $\varphi=0,83 \text{ W/m}\cdot\text{K}$



Pilar intermedio
 $\varphi=1,15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Elesdopa tiene una debilidad en lo que se refiere a resistencia térmica, y es que en los conectores pierde gran cantidad de calor. Para ver la influencia de estos conectores haremos el estudio de la demanda de calefacción tanto con la superficie de los conectores como sin ella.

Haciendo esta comparación, se podrá comprobar si es tan determinante la presencia de estos elementos, y si con ellos cumple el estándar Passivhaus de demanda de calefacción.

CUADRO DE SUPERFICIES GENERAL

Superficie de envolventes

Nr. de grupos	Grupo de superficies	Zona de temperatura	Superficie	Unidad
1	SRE (sup. de referencia energética)		273,80	m ²
2	Ventanas al norte	A	0,00	m ²
3	Ventanas al este	A	0,00	m ²
4	Ventanas al sur	A	1,80	m ²
5	Ventanas al oeste	A	0,00	m ²
6	Ventanas horizontales	A	0,00	m ²
7	Puerta exterior	A	0,00	m ²
8	Muro ext. - aire ext.	A	286,20	m ²
9	Muro ext. - terreno	B	0,00	m ²
10	Techo / cubierta - Aire ext.	A	144,00	m ²
11	Solera / losa piso / forjado sanitario	B	144,00	m ²

Puentes térmicos

15	PTs ambiente exterior	A	96,60	m
16	PTs perimetrales en el zócalo	P	0,00	m
17	PTs solera / forjado sanitario / losa	B	48,00	m

Total de la envolvente térmica	576,00	m²
---------------------------------------	---------------	----------------------

CUADRO DE PUENTES TÉRMICOS

Nr.	PTs, determinación de detalle de conexión o de defecto constructivo	Cantidad	Longitud, determinada por el usuario [m]	Longitud ℓ [m]	Ψ W/(mK)
1	Pte cubierta fachada	1	48,00	48,00	0,280
2	Pte forjado sanitario fachada	1	48,00	48,00	0,400
3	Pte alféizar	1	1,50	1,50	0,100
4	Pte dintel	1	1,50	1,50	0,450
5	Pte jambas ventana	2	1,20	2,40	0,140
6	Pilares intermedios	8	2,70	21,60	1,150
7	Pilares esquina	8	2,70	21,60	0,830

No se tiene en cuenta la superficie de conectores

CASO 2: SISTEMA ELESDDOPA

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓN CASO 2 (INCLUYENDO CONECTORES)

Elemento constructivo	Zona de temperatura	Superficie m²	Valor-U W/(m²K)	Fact temp. f _t	G _t kWh/a	Por m² de SRE	
Muro ext. - aire ext.	A	286,2	0,376	1,00	36,0	14,15	
Muro ext. - terreno	B			0,33			
Techo / cubierta - Aire ext.	A	144,0	0,105	1,00	36,0	2,00	
Solera / losa piso / forjado sanitario	B	144,0	0,433	0,33	36,0	2,66	
	A			1,00			
	A			1,00			
	X			0,75			
Ventanas	A	1,8	1,285	1,00	36,0	0,30	
Puerta exterior	A			1,00			
Puentes térmicos exteriores (longitud)	A	96,6	0,594	1,00	36,0	7,54	
Puentes térmicos perímetro (longitud)	P			0,33		0,00	
Puentes térmicos piso (longitud en m)	B	48,0	0,400	0,33	36,0	0,82	
Total de superficies de la envolvente térmica		576,0					
Pérdidas de calor por transmisión Q_T					Total	7522	27,5
Demanda de calefacción Q_{Cal}					Q _P - Q _G =	5752	21
Valor máx. permitido					15		
¿Requerimiento cumplido?						no	

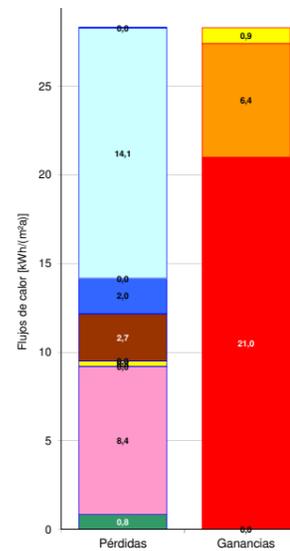
DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓN CASO 2 (SIN INCLUIR CONECTORES)

Elemento constructivo	Zona de temperatura	Superficie m²	Valor-U W/(m²K)	Fact temp. f _t	G _t kWh/a	Por m² de SRE	
Muro ext. - aire ext.	A	286,2	0,167	1,00	36,0	6,29	
Muro ext. - terreno	B			0,35			
Techo / cubierta - Aire ext.	A	144,0	0,096	1,00	36,0	1,82	
Solera / losa piso / forjado sanitario	B	144,0	0,282	0,35	36,0	1,87	
	A			1,00			
	A			1,00			
	X			0,75			
Ventanas	A	1,8	1,285	1,00	36,0	0,30	
Puerta exterior	A			1,00			
Puentes térmicos exteriores (longitud)	A	96,6	0,594	1,00	36,0	7,54	
Puentes térmicos perímetro (longitud)	P			0,35		0,00	
Puentes térmicos piso (longitud en m)	B	48,0	0,400	0,35	36,0	0,88	
Total de superficies de la envolvente térmica		576,0					
Pérdidas de calor por transmisión Q_T					Total	5120	18,7
Demanda de calefacción Q_{Cal}					Q _P - Q _G =	3357	12
Valor máx. permitido					15		
¿Requerimiento cumplido?						sí	

INFLUENCIA DE LOS CONECTORES EN EL SISTEMA ELESDDOPA (Sin conectores)

Pérdidas en cerramiento:	5.150 kWh/año	Diferencia: (-47%)
Pérdidas totales:	7.522 kWh/año	Diferencia: (-32%)
Demanda de calefacción necesaria:	21 kWk/(m²-año)	Diferencia: (-42%)
	12,3 kWk/(m²-año)	

Balace energético demanda de calefacción (al año)



RESULTADOS CASO 2 (Caso 1 en rojo):

Pérdidas en cerramiento:	5.150 kWh/año
Pérdidas en puentes térmicos:	2.373 kWh/año
Pérdidas totales:	7.522 kWh/año
Pérdidas totales por m² de SRE:	27,5 kWk/(m²-año)
Demanda de calefacción necesaria:	21 kWk/(m²-año)
	29 kWk/(m²-año)
¿Cumple el criterio Passivhaus?:	No

CONCLUSIONES:

- El sistema de envolvente Elesdopa, permite un ahorro importante de material en obra, dejando espacio en el interior para instalaciones o aislamiento. Es un sistema ingenioso que empieza a extenderse en el mercado de la construcción.
- Si se opta por rellenar el espacio interior de aislamiento térmico (en el caso de estudio se emplea Poliuretano rígido), la transmitancia del cerramiento es muy baja.
- Sin embargo, al no aislar los conectores de hormigón armado que tiene (de 10x10 cm cada 35 cm, aprox.) se convierten en pequeños puentes térmicos salpicados por toda la envolvente. Según el estudio realizado, se pierde un 47% de la energía calorífica a través de los conectores. Esto supone unas pérdidas totales del 32% y un gasto de calefacción de hasta un 42% más.
- Con estos datos, el sistema Elesdopa no cumple el estándar Passivhaus de demanda de calefacción. Sin embargo, puede tener solución: si se emplea alguno de los sistemas que veremos a continuación (aislamiento por exterior o trasdosado interior) como complemento puede dar como resultado un cerramiento muy válido para obtener un edificio de gasto casi nulo de energía.

Leyenda

- Ganancias de calor no utilizables
- Muro ext. - aire ext.
- Techo / cubierta - Aire ext.
- Solera / losa piso / forjado sanitario
- Ventanas
- Pérdidas de calor por puentes térmicos
- Ventilación
- Ganancias solares
- Ganancias internas de calor
- Demanda de calefacción

CASO 3: SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR

SUPERFICIES Y TRANSMITANCIAS

TRANSMITANCIAS DE LA ENVOLVENTE

Fachada SATE

Resistencia térmica superficial [m ² K/W]	interior R _{si} :	0,13
	exterior R _{se} :	0,04

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Acabado de yeso	0,180	10
2. Ladrillo hueco	0,800	115
3. Mortero polimérico	0,440	15
4. Paneles poliuretano	0,035	120
5. Acabado de mortero	0,450	20

Valor-U:	0,258 W/(m ² K)	Total	28,0 cm
----------	-----------------------------------	-------	----------------

CASO 1: 0,359 30,0 cm

Cubierta invertida

Resistencia térmica superficial [m ² K/W]	interior R _{si} :	0,10
	exterior R _{se} :	0,04

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Forjado unidir.	0,500	300
2. Formación pte Arlita	0,110	100
3. Aislam. Poliuretano	0,035	120
4. Grava	1,210	130

Valor-U:	0,193 W/(m ² K)	Total	65,0 cm
----------	-----------------------------------	-------	----------------

CASO 1: 0,193 65,0 cm

Forjado sanitario

Resistencia térmica superficial [m ² K/W]	interior R _{si} :	0,17
	exterior R _{se} :	0,04

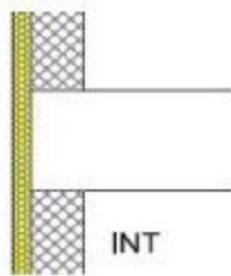
Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Pavimento cerámico	0,130	20
2. Mortero	1,400	80
3. Aislam. Poliuretano	0,035	60
4. Hormigón compresión	2,100	90
5. Cámara aire cavit	0,220	400
6. Losa 15 cm	2,100	150

Valor-U:	0,246 W/(m ² K)	Total	80,0 cm
----------	-----------------------------------	-------	----------------

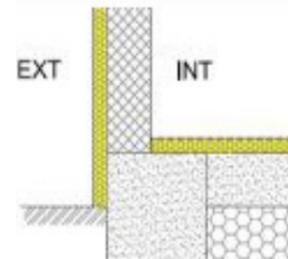
CASO 1: 0,246 80,0 cm

LISTA DE PUENTES TÉRMICOS Y TRANSMITANCIAS

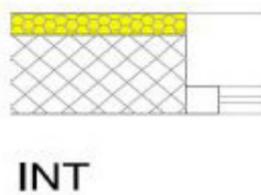
La fachada con sistema de aislamiento térmico por el exterior tiene una reducción importante de puentes térmicos con respecto al cerramiento tradicional de capuchina. Aunque aquí se tiene en cuenta, el puente térmico del forjado con la fachada es casi inexistente, así como el de los pilares. El puente térmico de la ventana depende de cómo se ejecute, en nuestro caso hemos optado por los que nos da el CE₃X en relación a este sistema, aunque son más bien desfavorables. El del alféizar se elimina al rellenarlo de aislamiento.



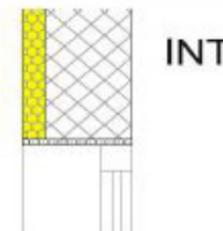
Fachada-Forjado
φ=0,22 W/m-K



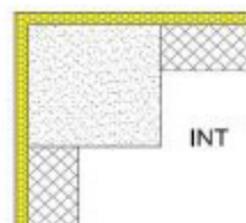
Contacto con terreno
φ=0,43 W/m-K



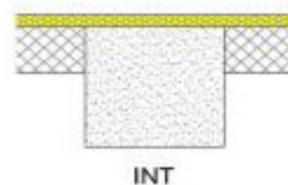
Jambas de ventana
φ=0,27 W/m-K



Dintel de ventana
φ=0,53 W/m-K



Pilar de esquina
φ=0,17 W/m-K



Pilar intermedio
φ=0,04 W/m-K

En principio, si está bien ejecutado este sistema, se pueden cerrar casi todos los puentes térmicos del edificio. Esta es la principal ventaja del SATE, la continuidad del aislamiento por la envolvente. El flujo de calor por las vigas se suprime, tanto en forjados como en cubierta, aunque es más difícil en el contacto con el terreno.

Se tienen en cuenta las mismas superficies que en los anteriores, y se reducen los metros lineales de puente térmico. Por el cerramiento de fachada se reduce la transmitancia térmica en 0,1 W/m²K, valor bastante bueno (e incluso con menor espesor). En cubierta y forjado sanitario se mantiene igual que en el CASO 1.

CUADRO DE SUPERFICIES GENERAL

Superficie de envolventes

Nr. de grupos	Grupo de superficies	Zona de temperatura	Superficie	Unidad
1	SRE (sup. de referencia energética)		273,80	m ²
2	Ventanas al norte	A	0,00	m ²
3	Ventanas al este	A	0,00	m ²
4	Ventanas al sur	A	1,80	m ²
5	Ventanas al oeste	A	0,00	m ²
6	Ventanas horizontales	A	0,00	m ²
7	Puerta exterior	A	0,00	m ²
8	Muro ext. - aire ext.	A	286,20	m ²
9	Muro ext. - terreno	B	0,00	m ²
10	Techo / cubierta - Aire ext.	A	144,00	m ²
11	Solera / losa piso / forjado sanitario	B	144,00	m ²

Puentes térmicos

15	PTs ambiente exterior	A	95,10	m
16	PTs perimetrales en el zócalo	P	0,00	m
17	PTs solera / forjado sanitario / losa	B	48,00	m
18	Muro divisorio entre viviendas	I	0,00	m ²
Total de la envolvente térmica			576,00	m²

CUADRO DE PUENTES TÉRMICOS

Nr.	PTs, determinación de detalle de conexión o de defecto constructivo	Cantidad	Longitud determinada por el usuario [m]	Longitud ℓ [m]	Ψ W/(mK)
1	Pte cubierta fachada	0	48,00	0,00	0,000
2	Pte forjado sanitario fachada	1	48,00	48,00	0,430
3	Pte alféizar	0	1,50	0,00	0,000
4	Pte forjado intermedio	1	48,00	48,00	0,220
5	Pte dintel	1	1,50	1,50	0,530
6	Pte jambas ventana	2	1,20	2,40	0,270
7	Pilares intermedios	8	2,70	21,60	0,040
8	Pilares esquina	8	2,70	21,60	0,170

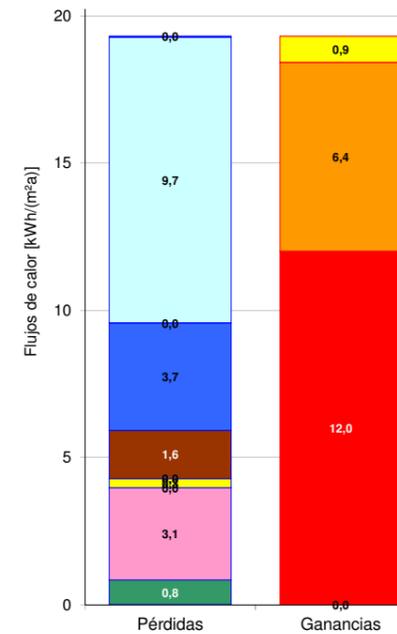
CASO 3: SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓN CASO 3

Elemento constructivo	Zona de temperatura	Superficie m ²	Valor-U W/(m ² K)	Fact temp. f _t	G _t kWh/a	Por m ² de SRE kWh/a	
Muro ext. - aire ext.	A	286,2	0,258	1,00	36,0	2658	
Muro ext. - terreno	B			0,35			
Techo / cubierta - Aire ext.	A	144,0	0,193	1,00	36,0	1000	
Solera / losa piso / forjado sanitario	B	144,0	0,246	0,35	36,0	450	
	A			1,00			
	A			1,00			
	X			0,75			
Ventanas	A	1,8	1,285	1,00	36,0	83	
Puerta exterior	A			1,00			
Puentes térmicos exteriores (longitud)	A	95,1	0,174	1,00	36,0	595	
Puentes térmicos perímetro (longitud)	P			0,35			
Puentes térmicos piso (longitud en m)	B	48,0	0,430	0,35	36,0	262	
Total de superficies de la envolvente térmica						576,0	
Pérdidas de calor por transmisión Q_T						5049	18,4
Sistema de ventilación:		Caudal de aire efectivo V _v m ³		A _{SRE} m ²	Altura libre habitación m		
Rendimiento del recuperador de calor de la recuperación de calor		η _{ref} 82%		273,8	2,70	739,3	
Eficiencia de recuperación de calor del intercambiador tierra-aire (ITA)		η _{ITA} 69%					
Tasa de renovación de aire energéticamente efectiva n _{vent}		n _{v,ajust} 1/h		Φ _{RC}	n _{v,Res} 1/h		
		0,300		(1 - 0,95)	0,010	0,026	
Pérdidas de calor por ventilación Q_{Vent}		V _v m ³	n _v 1/h	C _{aire} Wh/(m ³ K)	G _t kWh/a	kWh/(m ² a)	
		739,3	0,026	0,33	36,0	230	
Pérdidas de calor totales Q_P		Q _T kWh/a		Factor de reducción Noche y fin de semana	Q _V kWh/a	Ahorro kWh/a	
		5049		1,0	230	5279	
Ganancias de calor por radiación solar Q_S		Orientación de la superficie		Factor de reducción Compare c/ hoja Ventana	Valor g (Radiación perpendicular)	Superficie m ²	
		1. Norte		0,00	0,00	0,00	
		2. Este		0,00	0,00	0,00	
		3. Sur		0,46	0,64	1,80	
		4. Oeste		0,00	0,00	0,00	
		5. Horizontal		0,00	0,00	0,00	
Ganancias internas de calor (GICs) Q_I		Período calefacción anual	Potencia esp. q _i W/m ²	A _{SRE} m ²			
		0,024	127	273,8	1758	6,4	
Ganancias de calor Q_G		Calor disponible Q _{disponible}		Q _S + Q _I	2002	7,3	
		Relación entre calor disponible y pérdidas calor		Q _{disp} / Q _P	0,38		
Demanda de calefacción Q_{Cal}		Aprovechamiento efectivo de las ganancias de calor η _G		(1 - (Q _{disp} / Q _P) ⁵) / (1 - (Q _{disp} / Q _P) ⁶)	100%		
		η _G * Q _{disponible}		1992	7,3		
		Q _P - Q _G		3287	12		
		Valor máx. permitido	15	¿Requerimiento cumplido?	SÍ		

Balance energético demanda de calefacción (al año)



RESULTADOS CASO 3 (Caso 1 en rojo):

Pérdidas en cerramiento:	4.108 kWh/año
	5.150 kWh/año
Pérdidas en puentes térmicos:	940 kWh/año
	4.354 kWh/año
Pérdidas totales:	5.049 kWh/año
	9.587 kWh/año
Pérdidas totales por m ² de SRE:	18,4 kWk/(m ² -año)
	35 kWk/(m ² -año)
Demanda de calefacción necesaria:	12 kWk/(m ² -año)
	29 kWk/(m ² -año)
¿Cumple el criterio Passivhaus?:	Si
	No

CONCLUSIONES:

- Con los datos obtenidos se puede deducir lo siguiente: con el sistema SATE hay una menor pérdida de calor a través de los cerramientos, debido principalmente a un mayor espesor de aislamiento en menor espesor total de fachada; sin embargo la mayor reducción de pérdidas de calor se debe al aislamiento de la mayoría de los puentes térmicos. Las pérdidas son, por tanto, casi un 50% menos que en una envolvente tradicional.

- Tal y como está planteado el modelo, con el sistema SATE se reduce la demanda de calefacción en un 60%, cumpliendo el estándar Passivhaus de consumo de calefacción para mantener una temperatura constante.

- El sistema es idóneo tanto para obra nueva como para rehabilitación, siempre que en esta se pueda por entorno y acuerdo de la comunidad de vecinos. Además no hace perder espacio en rehabilitación, e incluso puede ganar unos centímetros del espesor con respecto a una capuchina en obra nueva. Un problema que existe en este último caso es la aparición de 'tacones' de pilares, al ser un cerramiento que no los alinea al acabado interior.

Leyenda

- Ganancias de calor no utilizables
- Muro ext. - aire ext.
- Techo / cubierta - Aire ext.
- Solera / losa piso / forjado sanitario
- Ventanas
- Pérdidas de calor por puentes térmicos
- Ventilación
- Ganancias solares
- Ganancias internas de calor
- Demanda de calefacción

CASO 4: AISLAMIENTO DE TRASDOSADO INTERIOR

SUPERFICIES Y TRANSMITANCIAS

TRANSMITANCIAS DE LA ENVOLVENTE

Fachada Caravista con trasdosado interior

Resistencia térmica superficial [m ² K/W]	interior R _{si} :	0,13
	exterior R _{se} :	0,04

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Panel yeso laminado	0,250	25
2. Lana de roca	0,035	100
3. Mortero polimérico	0,440	10
4. Ladrillo caravista	0,700	115

Valor-U: **0,302** W/(m²K) Total **25,0** cm

CASO 1: 0,359 30,0 cm

Cubierta invertida con trasdosado interior

Resistencia térmica superficial [m ² K/W]	interior R _{si} :	0,10
	exterior R _{se} :	0,04

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Panel yeso lam +Aisl	0,035	90
2. Cámara de aire	0,070	100
3. Forjado unidir.	0,500	300
4. Formación pte Arlita	0,110	100
5. Aislam. Poliuretano	0,035	120
6. Grava	1,210	130

Valor-U: **0,109** W/(m²K) Total **84,0** cm

CASO 1: 0,193 65,0 cm

Forjado sanitario

Resistencia térmica superficial [m ² K/W]	interior R _{si} :	0,17
	exterior R _{se} :	0,04

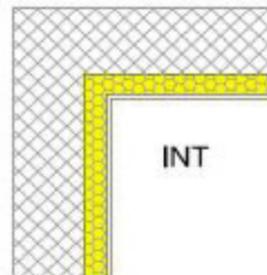
Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Pavimento cerámico	0,130	20
2. Mortero	1,400	80
3. Aislam. Poliuretano	0,035	60
4. Hormigón compresión	2,100	90
5. Cámara aire caviti	0,220	400
6. Losa 15 cm	2,100	150

Valor-U: **0,246** W/(m²K) Total **80,0** cm

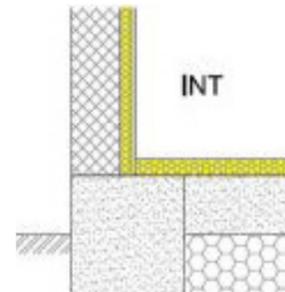
CASO 1: 0,246 80,0 cm

LISTA DE PUENTES TÉRMICOS Y TRANSMITANCIAS

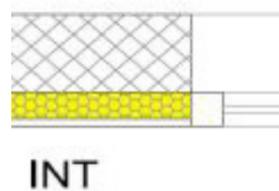
El sistema de fachada con el aislamiento en el trasdosado interior tiene una ventaja fundamental: apenas tiene puentes térmicos. Salvo en puntos concretos, como en los huecos, es una superficie continua de aislamiento térmico. En este cálculo tendremos en cuenta los puentes térmicos de las ventanas (alféizar, jambas y dintel), así como el punto de encuentro con el terreno (como nos indica CE3X). En los encuentros de pilares se desprecian los puentes térmicos, como indica el CTE-DB-HE, puesto que hay una continuidad en el aislamiento, y para el encuentro con el forjado y la cubierta contamos con un mínimo puente térmico.



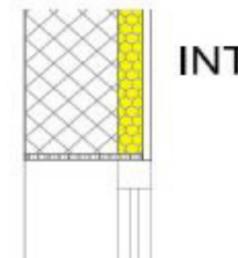
Fachada-Cubierta
Fachada-Forjado (x2 plantas)
 $\varphi=0,03$ W/m-K



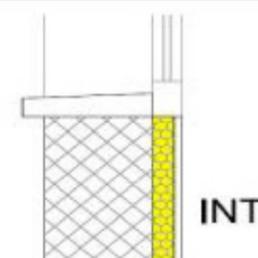
Contacto con terreno
 $\varphi=0,41$ W/m-K



Jambas de ventana
 $\varphi=0,03$ W/m-K



Dintel de ventana
 $\varphi=0,21$ W/m-K



Alféizar de ventana
 $\varphi=0,02$ W/m-K

CUADRO DE SUPERFICIES GENERAL

Superficie de envolventes

Nr. de grupos	Grupo de superficies	Zona de temperatura	Superficie	Unidad
1	SRE (sup. de referencia energética)		273,80	m ²
2	Ventanas al norte	A	0,00	m ²
3	Ventanas al este	A	0,00	m ²
4	Ventanas al sur	A	1,80	m ²
5	Ventanas al oeste	A	0,00	m ²
6	Ventanas horizontales	A	0,00	m ²
7	Puerta exterior	A	0,00	m ²
8	Muro ext. - aire ext.	A	286,20	m ²
9	Muro ext. - terreno	B	0,00	m ²
10	Techo / cubierta - Aire ext.	A	144,00	m ²
11	Solera / losa piso / forjado sanitario	B	144,00	m ²

Puentes térmicos

Nr.	PTs, determinación de detalle de conexión o de defecto constructivo	Cantidad	Longitud determinada por el usuario [m]	Longitud l [m]	Ψ W/(mK)
15	PTs ambiente exterior			149,40	m
16	PTs perimetrales en el zócalo			0,00	m
17	PTs solera / forjado sanitario / losa			48,00	m
18	Muro divisorio entre viviendas			0,00	m ²
Total de la envolvente térmica				576,00	m²

CUADRO DE PUENTES TÉRMICOS

Nr.	PTs, determinación de detalle de conexión o de defecto constructivo	Cantidad	Longitud determinada por el usuario [m]	Longitud l [m]	Ψ W/(mK)
1	Pte cubierta fachada	1	48,00	48,00	0,030
2	Pte forjado sanitario fachada	1	48,00	48,00	0,410
3	Pte alfeizar	1	1,50	1,50	0,020
4	Pte forjado intermedio	2	48,00	96,00	0,030
5	Pte dintel	1	1,50	1,50	0,210
6	Pte jambas ventana	2	1,20	2,40	0,030
7	Pilares intermedios	0	2,70	0,00	0,000
8	Pilares esquina	0	2,70	0,00	0,000

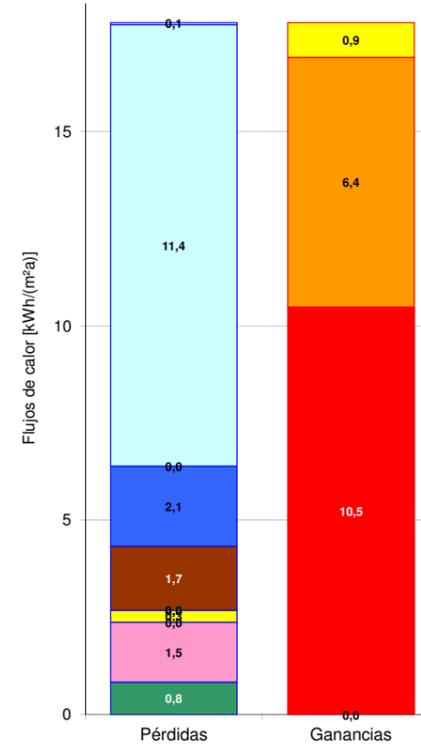
CASO 4: AISLAMIENTO DE TRASDOSADO INTERIOR

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓN CASO 4

Elemento constructivo	Zona de temperatura	Superficie m ²	Valor-U W/(m ² K)	Fact temp. f _t	G _t kWh/a	Por m ² de SRE	
Muro ext. - aire ext.	A	286,2	0,302	1,00	36,0	11,36	
Muro ext. - terreno	B			0,35			
Techo / cubierta - Aire ext.	A	144,0	0,109	1,00	36,0	2,06	
Solera / losa piso / forjado sanitario	B	144,0	0,246	0,35	36,0	1,65	
	A			1,00			
	A			1,00			
	X			0,75			
Ventanas	A	1,8	1,285	1,00	36,0	0,30	
Puerta exterior	A			1,00			
Puentes térmicos exteriores (longitud)	A	149,4	0,032	1,00	36,0	0,62	
Puentes térmicos perímetro (longitud)	P			0,35		0,00	
Puentes térmicos piso (longitud en m)	B	48,0	0,410	0,35	36,0	0,92	
Total de superficies de la envolvente térmica		576,0					
Pérdidas de calor por transmisión Q_T					Total	4630	16,9
Sistema de ventilación:		Caudal de aire efectivo V _v m ³ /h		A _{SRE} m ²	Altura libre habitación m		
Rendimiento del recuperador de calor de la recuperación de calor		η _{ref} 82%		273,8	2,70	739,3	
Eficiencia de recuperación de calor del intercambiador tierra-aire (ITA)		η _{ITA} 69%					
Tasa de renovación de aire energéticamente efectiva n _{vent}		0,300		0,95	0,010	0,026	
Pérdidas de calor por ventilación Q_{Vent}		V _v m ³ /h	n _{vent} 1/h	C _{aire} Wh/(m ³ K)	G _t kWh/a	230	
		739,3	0,026	0,33	36,0	0,8	
Pérdidas de calor totales Q_P		Q _T kWh/a		Q _V kWh/a	Ahorro kWh/a	4860	
		4630		230	1,0	17,8	
Ganancias de calor por radiación solar Q_S		Factor de reducción Compare c/ hoja Ventana		Valor g (Radiación perpendicular)	Superficie m ²	Radiación global período calefacción kWh/(m ² a)	
1. Norte		0,00		0,00	0,00	82	
2. Este		0,00		0,00	0,00	207	
3. Sur		0,46		0,64	1,80	461	
4. Oeste		0,00		0,00	0,00	209	
5. Horizontal		0,00		0,00	0,00	347	
Ganancias de calor por radiación solar Q_S						244	
Ganancias internas de calor (GICs) Q_I		Período calefacción anual kh/d	Potencia esp. q _i W/m ²	A _{SRE} m ²		1758	
		0,024	127	273,8		6,4	
Ganancias de calor Q_G		Calor disponible Q _{disponible} kWh/a		Q _S + Q _I kWh/a		2002	
				2002		7,3	
Demanda de calefacción Q_{Cal}		Relación entre calor disponible y pérdidas calor Q _{disp} / Q _P		Q _{disp} / Q _P		0,41	
				0,41			
Demanda de calefacción Q_{Cal}		Aprovechamiento efectivo de las ganancias de calor η _G		(1 - (Q _{disp} / Q _P)5) / (1 - (Q _{disp} / Q _P)6)		99%	
				99%			
Demanda de calefacción Q_{Cal}		η _G * Q _{disponible} kWh/a		1988		7,3	
Demanda de calefacción Q_{Cal}		Q _P - Q _G kWh/a		2872		10	
Demanda de calefacción Q_{Cal}		Valor máx. permitido kWh/(m ² a)		15			
Demanda de calefacción Q_{Cal}		¿Requerimiento cumplido? (sí/no)		SÍ			

Balance energético demanda de calefacción (al año)



Leyenda

- Ganancias de calor no utilizables
- Muro ext. - aire ext.
- Techo / cubierta - Aire ext.
- Solera / losa piso / forjado sanitario
- Ventanas
- Pérdidas de calor por puentes térmicos
- Ventilación
- Ganancias solares
- Ganancias internas de calor
- Demanda de calefacción

RESULTADOS CASO 4 (Caso 1 en rojo):

Pérdidas en cerramiento:	4.125 kWh/año
	5.150 kWh/año
Pérdidas en puentes térmicos:	505 kWh/año
	4.354 kWh/año
Pérdidas totales:	4.630 kWh/año
	9.587 kWh/año
Pérdidas totales por m ² de SRE:	16,9 kWk/(m ² -año)
	35 kWk/(m ² -año)
Demanda de calefacción necesaria:	10,5 kWk/(m ² -año)
	29 kWk/(m ² -año)
¿Cumple el criterio Passivhaus?:	Si
	No

CONCLUSIONES:

- El aislamiento térmico en el trasdosado interior permite una protección mucho más controlada que el SATE, y por supuesto que la capuchina y Elesdopa. Aunque el frío se filtra por la estructura, cada planta queda perfectamente aislada. Sólo en los huecos puede existir pequeños puentes térmicos, y eso se refleja en los resultados. El ahorro de energía por puentes térmicos es del 88%, y del 48% en el total con respecto al Caso 1.

- Las pérdidas a través del cerramiento son ligeramente inferiores a la capuchina, la gran ventaja es que se consigue una transmitancia similar con un ahorro de 5 cm de espesor. Se podría mejorar el aislamiento con un trasdosado de mayor espacio para rellenar con lana de roca.

- El trasdosado interior se puede utilizar tanto en nueva edificación como en rehabilitación. En obra nueva no es muy común, aunque se puede incluir como complemento de otro sistema como el SATE o Elesdopa. En rehabilitación es lo más recomendable, y se puede utilizar independientemente del entorno y de la comunidad de vecinos. En este caso, un inconveniente es la pérdida de superficie útil en el interior.

CASO 5: PCM (MATERIAL DE CAMBIO DE FASE)

SUPERFICIES Y TRANSMITANCIAS

TRANSMITANCIAS DE LA ENVOLVENTE

Fachada Caravista con trasdosado interior

Resistencia térmica superficial [m ² K/W]	interior R _{si} :	0,13
	exterior R _{se} :	0,04

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Panel yeso laminado	0,250	10
2. Espacio vacío		38
3. PCM	0,012	12
4. Ladrillo hueco	0,800	70
5. Cámara de aire	0,180	30
6. Lana de roca	0,035	75
7. Ladrillo caravista	0,700	115

Valor-U: **0,265** W/(m²K) **35,0** cm

CASO 1: 0,359 30,0 cm

Cubierta invertida con trasdosado interior

Resistencia térmica superficial [m ² K/W]	interior R _{si} :	0,10
	exterior R _{se} :	0,04

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Panel yeso laminado	0,250	10
2. Espacio vacío		38
3. PCM	0,012	12
4. Forjado unidir.	0,500	300
5. Formación pte Arlita	0,110	100
6. Aislam. Poliuretano	0,035	120
7. Grava	1,210	130

Valor-U: **0,161** W/(m²K) **71,0** cm

CASO 1: 0,193 65,0 cm

Forjado sanitario

Resistencia térmica superficial [m ² K/W]	interior R _{si} :	0,17
	exterior R _{se} :	0,04

Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Pavimento cerámico	0,130	20
2. Mortero	1,400	80
3. Aislam. Poliuretano	0,035	60
4. Hormigón compresión	2,100	90
5. Cámara aire cavit	0,220	400
6. Losa 15 cm	2,100	150

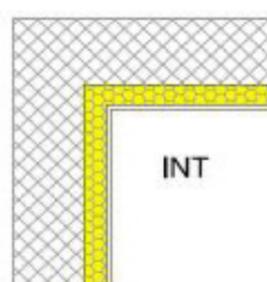
Valor-U: **0,246** W/(m²K) **80,0** cm

CASO 1: 0,246 80,0 cm

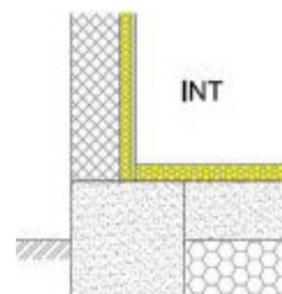
LISTA DE PUENTES TÉRMICOS Y TRANSMITANCIAS

El Caso 5 se puede decir que lo importante es ver cómo resulta la aplicación del PCM en una fachada. Como el Caso 1 es la referencia, se decide aplicar las láminas de PCM en este caso, y poder ver los resultados que da. En el fondo es un trasdosado interior, en este caso, aunque el PCM se puede emplear de muchas maneras.

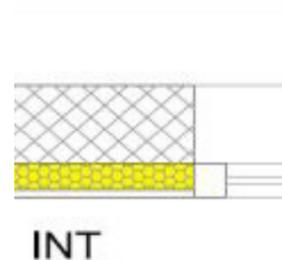
Los puentes térmicos escogidos son los mismos que en el trasdosado interior. En el Caso 5 el PCM se emplea como una barrera frente a los puentes térmicos, y en consecuencia muchos quedan cerrados o minimizados. Los más comunes en este caso serán los de las carpinterías de las ventanas, y aunque en menor medida, pueden darse en los puntos más débiles como son los encuentros de la envolvente con los forjados.



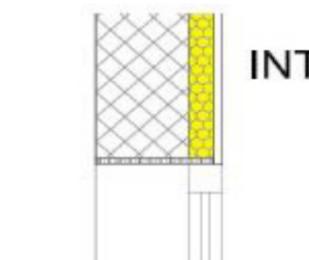
Fachada-Cubierta
Fachada-Forjado (x2 plantas)
φ=0,03 W/m·K



Contacto con terreno
φ=0,41 W/m·K



Jambas de ventana
φ=0,03 W/m·K



Dintel de ventana
φ=0,21 W/m·K

CUADRO DE SUPERFICIES GENERAL

Superficie de envolventes

Nr. de grupos	Grupo de superficies	Zona de temperatura	Superficie	Unidad
1	SRE (sup. de referencia energética)		273,80	m ²
2	Ventanas al norte	A	0,00	m ²
3	Ventanas al este	A	0,00	m ²
4	Ventanas al sur	A	1,80	m ²
5	Ventanas al oeste	A	0,00	m ²
6	Ventanas horizontales	A	0,00	m ²
7	Puerta exterior	A	0,00	m ²
8	Muro ext. - aire ext.	A	286,20	m ²
9	Muro ext. - terreno	B	0,00	m ²
10	Techo / cubierta - Aire ext.	A	144,00	m ²
11	Solera / losa piso / forjado sanitario	B	144,00	m ²

Puentes térmicos

Nr.	PTs, determinación de detalle de conexión o de defecto constructivo	Cantidad	Longitud determinada por el usuario [m]	Longitud l [m]	ψ W/(mK)
15	PTs ambiente exterior			149,40	m
16	PTs perimetrales en el zócalo			0,00	m
17	PTs solera / forjado sanitario / losa			48,00	m
18	Muro divisorio entre viviendas			0,00	m ²
Total de la envolvente térmica			576,00	m²	

CUADRO DE PUENTES TÉRMICOS

Nr.	PTs, determinación de detalle de conexión o de defecto constructivo	Cantidad	Longitud determinada por el usuario [m]	Longitud l [m]	ψ W/(mK)
1	Pte cubierta fachada	1	48,00	48,00	0,030
2	Pte forjado sanitario fachada	1	48,00	48,00	0,410
3	Pte alfeizar	1	1,50	1,50	0,020
4	Pte forjado intermedio	2	48,00	96,00	0,030
5	Pte dintel	1	1,50	1,50	0,210
6	Pte jambas ventana	2	1,20	2,40	0,030

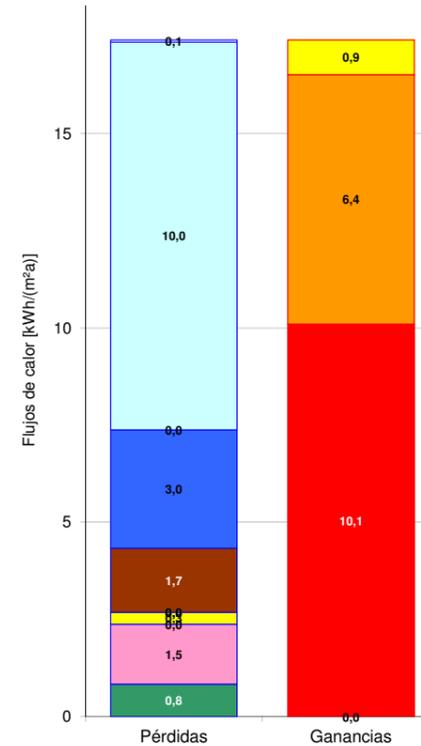
CASO 5: PCM (MATERIAL DE CAMBIO DE FASE)

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

DEMANDA ANUAL DE CALEFACCIÓN CASO 5

Elemento constructivo	Zona de temperatura	Superficie m ²	Valor-U W/(m ² K)	Fact temp. f _t	G _t kWh/a	Por m ² de SRE kWh/a	
Muro ext. - aire ext.	A	286,2	0,265	1,00	36,0	9,98	
Muro ext. - terreno	B			0,35			
Techo / cubierta - Aire ext.	A	144,0	0,161	1,00	36,0	3,04	
Solera / losa piso / forjado sanitario	B	144,0	0,246	0,35	36,0	1,65	
	A			1,00			
	A			1,00			
	X			0,75			
Ventanas	A	1,8	1,285	1,00	36,0	0,30	
Puerta exterior	A			1,00			
Puentes térmicos exteriores (longitud)	A	149,4	0,032	1,00	36,0	0,62	
Puentes térmicos perímetro (longitud)	P			0,35		0,00	
Puentes térmicos piso (longitud en m)	B	48,0	0,410	0,35	36,0	0,92	
Total de superficies de la envolvente térmica		576,0					
Pérdidas de calor por transmisión Q_T					Total	4522	16,5
Sistema de ventilación:		Caudal de aire efectivo V _v m ³ /h		A _{SRE} m ²	Altura libre habitación m		
Rendimiento del recuperador de calor de la recuperación de calor		η _{ref} 82%		273,8	2,70	739,3	
Eficiencia de recuperación de calor del intercambiador tierra-aire (ITA)		η _{ITA} 69%					
Tasa de renovación de aire energéticamente efectiva n _{vent}		0,300		Φ _{RC} 0,95	n _{V,Res} 0,010	0,026	
Pérdidas de calor por ventilación Q_{Vent}		V _v m ³ /h	n _v 1/h	C _{aire} Wh/(m ² K)	G _t kWh/a	739,3 * 0,026 * 0,33 * 36,0 = 230	
Pérdidas de calor totales Q_P		Q _T kWh/a		Factor de reducción Noche y fin de semana Ahorro kWh/a		4522 + 230 = 4752	
Orientación de la superficie		Factor de reducción Compare c/ hoja Ventana	Valor g (Radiación perpendicular)	Superficie m ²	Radiación global período calefacción kWh/(m ² a)		
1. Norte		0,00	0,00	0,00	82	0	
2. Este		0,00	0,00	0,00	207	0	
3. Sur		0,46	0,64	1,80	461	244	
4. Oeste		0,00	0,00	0,00	209	0	
5. Horizontal		0,00	0,00	0,00	347	0	
Ganancias de calor por radiación solar Q_S					Total	244	0,9
Ganancias internas de calor (GICs) Q_I		kh/d	Periodo calefacción anual día	Potencia esp. q _i W/m ²	A _{SRE} m ²	0,024 * 127 * 2,10 * 273,8 = 1758	
Calor disponible Q _{disponible}		Q _S + Q _I =		2002		7,3	
Relación entre calor disponible y pérdidas calor		Q _{disp} / Q _P =		0,42			
Aprovechamiento efectivo de las ganancias de calor η _G		(1 - (Q _{disp} / Q _P) ⁵) / (1 - (Q _{disp} / Q _P) ⁶) =		99%			
Ganancias de calor Q_G					η _G * Q _{disponible}	1986	7,3
Demanda de calefacción Q_{Cal}					Q _P - Q _G	2765	10
Valor máx. permitido kWh/(m ² a)		15		¿Requerimiento cumplido? SÍ			

Balance energético demanda de calefacción (al año)



Leyenda

- Ganancias de calor no utilizables
- Muro ext. - aire ext.
- Techo / cubierta - Aire ext.
- Solera / losa piso / forjado sanitario
- Ventanas
- Pérdidas de calor por puentes térmicos
- Ventilación
- Ganancias solares
- Ganancias internas de calor
- Demanda de calefacción

RESULTADOS CASO 5 (Caso 1 en rojo):

- Pérdidas en cerramiento: 4.017 kWh/año
- Pérdidas en puentes térmicos: 505 kWh/año
- Pérdidas totales: 4.522 kWh/año
- Pérdidas totales por m² de SRE: 16,5 kWh/(m²-año)
- Demanda de calefacción necesaria: 10,1 kWh/(m²-año)
- ¿Cumple el criterio Passivhaus?: Si No

CONCLUSIONES:

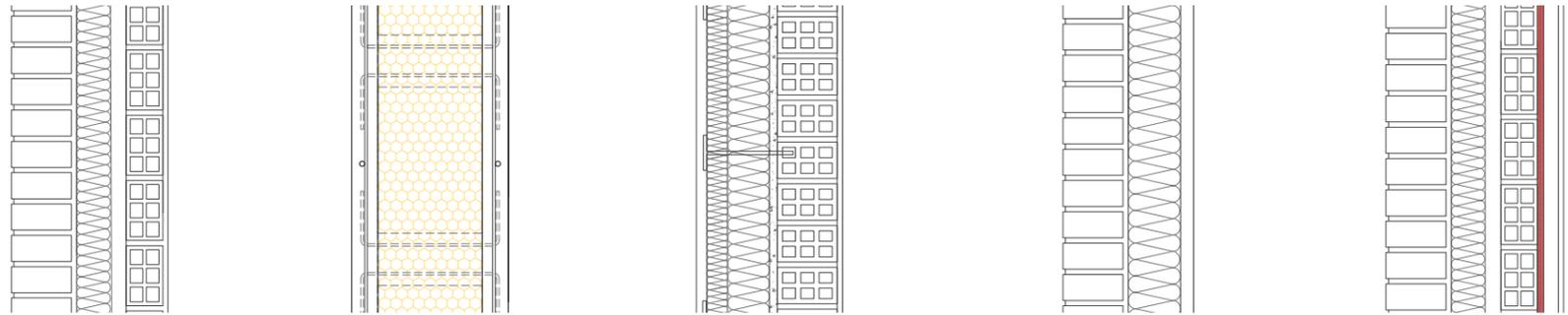
- El PCM tiene múltiples ventajas: la más importante es que regula la temperatura interior, debido a la absorción de energía del exterior en los momentos calurosos, y la disipación en los momentos de bajada de temperaturas. Por tanto, es un acumulador de energía muy interesante para mantener la temperatura de confort (alrededor de 23°C).

- Otra de las ventajas que tiene es su resistencia térmica muy elevada, siendo casi cuatro veces más resistente térmicamente que otros aislamientos como la lana mineral. Esto se traduce en un menor espesor de aislamiento y la posibilidad de cortar puentes térmicos existentes, como en la capuchina del Caso 1.

- Sin embargo, es un producto que todavía se está estudiando y es poco comercializado por lo que es muy caro para su puesta en obra. En un futuro será un producto interesante para edificios pasivos.

- Se puede utilizar tanto en obra nueva como en rehabilitación. Por el precio, su uso está más destinado a obras de rehabilitación especiales con poco espacio disponible.

TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS



	Caso 1: Cubierta invertida/ Fachada capuchina/ Forjado antihumedad	Caso 2: Sistema Elesdopa	Caso 3: SATE (sistema de aislamiento térmico por el exterior)	Caso 4: Aislamiento de trasdosado interior	Caso 5: Caso 1 + PCM (material de cambio de fase)
Espesor de fachada	30 cm	30 cm	28 cm	25 cm	31,2 cm (+4,8 trasdosado)
Espesor de aislamiento	7,5 cm	20 cm	12 cm	10 cm	7,5 cm + 1,2 cm PCM
Pérdidas cerramiento	5.150 kWh/año	5.150 kWh/año	4.108 kWh/año	4.125 kWh/año	4.017 kWh/año
Pérdidas puentes térmicos	4.354 kWh/año	2.373 kWh/año	940 kWh/año	505 kWh/año	505 kWh/año
Pérdidas totales	9.587 kWh/año	7.522 kWh/año	5.049 kWh/año	4.630 kWh/año	4.522 kWh/año
Pérdidas totales/m ² de SRE	35 kWh/(m ² ·año)	27,4 kWh/(m ² ·año)	18,4 kWh/(m ² ·año)	16,9 kWh/(m ² ·año)	16,5 kWh/(m ² ·año)
Demanda de calefacción	29 kWh/(m ² ·año)	21 kWh/(m ² ·año)	12 kWh/(m ² ·año)	10,5 kWh/(m ² ·año)	10,1 kWh/(m ² ·año)
Cumple criterio Passivhaus	No	No	Si	Si	Si
Uso preferente	Obra nueva	Obra nueva	Obra nueva/ rehabilitación	Rehabilitación	Rehabilitación
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema más común actualmente. - Problema de puentes térmicos en los encuentros con estructura (se corta el aislamiento térmico) - Solución: SATE, aislamiento en trasdosado interior. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema novedoso, importante ahorro de material. - Problema: Conectores son puentes térmicos muy importantes (47% de las pérdidas a través de cerramientos, 32% del total). - Solución: SATE, aislamiento en trasdosado interior. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta resistencia térmica, el aislamiento envuelve el cerramiento y evita los puentes térmicos desde fuera. - Se puede emplear con cámara de aire (fachada ventilada) o sin ella (SATE) 	<ul style="list-style-type: none"> -Aísla desde el interior, rompe los posibles puentes térmicos. - Independencia de factores externos (entorno, vecinos) para aplicarlo. - Uso principal para rehabilitaciones, aunque reduce la superficie útil. 	<ul style="list-style-type: none"> - Material que preserva la temperatura de confort en el interior (+ t° absorbe energía, - t° disipa energía) - Muy alta resistencia térmica en poco espesor. - Problema: aún muy cara, útil en rehabilitaciones con poco espacio.

BIBLIOGRAFÍA Y PROGRAMAS INFORMÁTICOS

NORMATIVA

Directiva 2010/31/UE

Relativa a la eficiencia energética de los edificios.

Directiva 2012/27/UE.

Relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE

RD 235/2013

Trasposición de la Directiva 2010/31/UE. Aprobación del Procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE de ahorro de energía.

DOCUMENTACIÓN DE CONSULTA

IEA, *Energy Technology Perspectives 2016*.

'Hacia sistemas sostenibles de energía urbana'. Documento de la Agencia Internacional de la Energía.

www.iea.org

Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid (fenercom), *'Guía del estándar PassivHaus. Edificios de consumo energético casi nulo'*. Madrid, 2011.

www.fenercom.com

Ministerio de Industria, Energía y Turismo, *'Guía Técnica de ahorro y eficiencia energética'*. Madrid, 2011.

www.idae.es

Plataforma Edificación Passivhaus

<http://www.plataforma-pep.org/>

CTE Web. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja e Instituto de la Construcción de Castilla y León.

Transmitancias térmicas de los materiales de construcción www.cte-web.iccl.es/

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

> FACHADA CAPUCHINA

ISOVER: Detalles constructivos según CTE

www.isover.es/documentacion/detalles-constructivos-segun-cte

Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes, *'Soluciones de Aislamiento con lana mineral'*. Madrid, 2008.

Guías técnicas centradas en materiales aislantes.

www.idae.es

Trabajo de la asignatura de Construcción 3.

E.T.S. Arquitectura de Granada. Elaboración propia.

> ELESDOPA

Información e ilustraciones del Sistema Elesdopa

www.elesdopa.es

www.elesdopainternational.com

Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes, *'Soluciones de Aislamiento con Poliuretano (PUR)'*. Madrid, 2008.

Guías técnicas centradas en materiales aislantes.

www.idae.es

> SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR

SATE Weber Saint-Gobain

www.weber.es

Fachada SATE Rockwool

www.rockwool.es

Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes, *'Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios con Sistemas Compuestos de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE)'*. Madrid, 2012.

Guías técnicas centradas en materiales aislantes.

www.idae.es

> ENVOLVENTE CON TRASDOSADO INTERIOR

Información general

www.certificadosenergeticos.com/rehabilitacion-energetica-envolvente-termica-aislamiento-trasdosado-interior-ce3x

Sistema de trasdosado PLADUR

www.pladur.com

MANUALES DE PROGRAMACIÓN

Aurea Consulting: *'Aprende a calcular puentes térmicos con Therm'*. Video tutorial de Therm.

www.ecoeficiente.es/tutorial-therm/

Passive House Institute. Dr Wolfgang Feist, *'Programa de Planificación Passivhaus Versión 8'*. Darmstadt, 2013.

Manual de PHPP 8.5.

PROGRAMAS INFORMÁTICOS

AutoCad 2016

Dibujo de detalles constructivos

Adobe InDesign CS6

Redacción y maquetación

Therm V 7.4.

Termografías

PHPP V 8.5.

Cálculo de demanda energética y comparativa analítica

CE₃X V 2.3.

Biblioteca de puentes térmicos y transmitancias

Adobe Photoshop CS6

Corrección de ilustraciones y leyendas de termografías