



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
ENGINYERIA
D'EDIFICACIÓ

Prof. Tutor:
Ignacio Guillén Guillamón

“Estudio de la influencia del sistema de montaje en cerramientos industriales y sus carpinterías. Simulación de flujos de calor bidimensionales en procesos de rehabilitación energética”.

Trabajo Final de Grado

Jorge Gutiérrez Moreno

CONTENIDO.

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- Introducción.....	1
1.2.- Antecedentes.	2
2.- METODOLOGÍA.	4
2.1.- Breve introducción a la teoría de elementos finitos.....	4
2.2.- Justificación de la elección del programa.....	5
2.2.- Funcionamiento del programa.....	6
2.3.- Limitaciones.	8
3.- USO DE LBNL THERM 7.	9
4.- PARÁMETROS que cuantifican un puente térmico.....	11
5.- ANÁLISIS DE LOS sujetos en estudio.....	13
5.1.- Elección de los sujetos de estudio. Justificación general.....	13
Esquema de tipologías utilizado	14
5.2.- Materiales utilizados y características térmicas.	15
5.3.- Descripción de los sujetos por caso.....	15
5.3.1.- Sujeto 1a: Haces interiores.....	16
5.3.2.-Sujeto 1b: Haces intermedias.....	17
5.3.3.- Sujeto 1c: Haces exteriores.....	18
5.3.4.-Sujeto 2	19
5.3.5.- Sujeto 3	20
5.3.6.- Sujeto 4	21
5.3.7.- Sujeto 5	22
5.3.8.- Sujeto 6	23
5.3.9.- Sujeto 7	24
5.3.10.- Sujeto 8	25
5.3.11.- Sujeto 9	26
6.- RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN TÉRMICA.....	28
6.1.- Consideraciones previas.....	28
6.2.- DISCUSIÓN SOBRE LOS PUENTES TÉRMICOS HALLADOS.	28
6.2.1.- Sujeto 1 ^a	29
6.2.2.- Sujeto 1b	29
6.2.3.- Sujeto 1c.....	29

6.2.4.- Sujeto 2	30
6.2.5.- Sujeto 3	30
6.2.6.- Sujeto 4	30
6.2.7.- Sujeto 5	31
6.2.8.- Sujeto 6	31
6.2.9.- Sujeto 7	31
6.2.10.- Sujeto 8	32
6.2.11.- Sujeto 9	32
7-. PROPUESTAS PARA LOS PUENTES TÉRMICOS ENCONTRADOS.	33
7.1.- Criterio para las propuestas	33
7.2.- Simulación y resultados de las propuestas. Análisis comparativo.	33
Solución 0: Haces interiores vs medias vs exteriores.....	34
Solución 1: Sustitución del tipo de vierteaguas.	36
Solución 2: Inyección de PUR en premarco	36
Solución 3: Trasdoso de la repisa.....	37
Solución 4: Relleno dintel de PUR.....	37
Solución 5: Cambio del tipo de tapajuntas.....	37
Soluciones 6 y 7: Chapa simple a sándwich y trasdosado	38
Solución 8: Trasdoso de muro.	39
Solución 9 y 10: Claraboya	39
Solución 11: Forrado del canto del forjado.	40
Solución 12: Protección canto forjado muro doble.	41
8-. CONCLUSIONES.	42
9.- ANEXOS.....	44
9.1.- Láminas de los sujetos analizados.....	44
9.2.- Láminas de las soluciones propuestas para los puentes térmicos.	67
9.3.- Listado de materiales y sus características térmicas.	80
9.4.- Tabla. Cálculo numérico de U2D y transmitancia térmica lineal.	81
9.5.- Tabla. Cálculo del factor de temperatura superficial.	87
9.6.- Cálculo de las transmitancias de los cerramientos.	88
9.7.- Comparativa numérica entre sujetos.....	92
10- BIBLIOGRAFÍA.....	94
10.1.- Libros de texto y ensayos utilizados.....	94
10.2.- Normativa consultada.....	94

10.3.- Documentos	94
10.4.- Artículos científicos.	94

Control de versiones

pfg.docx

v1.119 | 3874KB | 65 Páginas | 12477 Palabras

Fecha de impresión 28/07/2016 16:10:00

1.- INTRODUCCIÓN.

1.1.- INTRODUCCIÓN.

Desde los albores de nuestra especie, el ser humano ha buscado cobijo y resguardo de los agentes climáticos y atmosféricos. Primero utilizando los abrigos naturales que la naturaleza podía ofrecer y más tarde construyendo sus propios refugios. Con la evolución del arte de la construcción y su racionalización mediante el método científico hemos conseguido prever cómo se comportarán nuestras construcciones antes de edificarlas.

La energía es el bien último y necesario. En la edificación, ante la etapa de escasez que llevamos viviendo desde la crisis de los años 70 del siglo pasado, se ha venido promoviendo, bien desde las autoridades, bien desde la iniciativa privada, técnicas para el ahorro de ésta.

Podríamos clasificar los métodos para el ahorro energético en dos grandes grupos: pasivo y activo. El activo se basa en utilizar la cantidad mínima de energía necesaria para el uso normal del edificio. Aquí entran sistemas de eficiencia energética para el control de la energía utilizada como el uso de equipos con mejores rendimientos. El sistema pasivo consistiría en aprovechar las características del entorno, los materiales utilizados y el sistema constructivo en un intento de minimizar la necesidad de utilización de energía externa para alcanzar el confort en el espacio en cuestión.

Este trabajo se centra en el análisis de los sistemas de cerramiento industrializado, es decir, producido mediante el uso de elementos prefabricados que conforman el sistema terminado o al menos una parte importante de su composición, tanto para cerramientos de espacios con uso de vivienda como para otros usos.

En este trabajo se pretende analizar térmicamente los sistemas de cerramiento industrializados más comunes en nuestro país y las uniones con sus carpinterías. Al producirse en serie y después de un diseño muy controlado, el sistema de cerramiento prefabricado suele tener previsto el sistema de aislamiento térmico de forma interna. Es en la necesidad de integración con elementos existentes donde el sistema prefabricado puede generar puentes térmicos en las uniones. En el presente Proyecto Final de Grado se analizarán las uniones entre la carpintería y el sistema de anclaje de los cerramientos a sus estructuras anfitrionas. Tras el análisis se propondrán soluciones a los puentes térmicos hallados y se evaluará la eficacia de la solución adoptada para cada caso.

1.2.- ANTECEDENTES.

Las ventajas de un sistema prefabricado frente a uno tradicional son bien conocidas. Por una parte al estar la producción centralizada y con un control mucho mayor, se pueden producir piezas que superan en características tanto físicas como mecánicas a sus competidoras ejecutadas en obra. Por otra parte, se ahorra en tiempos de ejecución en obra, al tener solamente que montar el sistema y anclarlo a los elementos existentes. Además, con la producción en planta, se produce un ahorro energético, al estar centralizadas todas las necesidades energéticas y toda la producción de residuos.

El uso de estos sistemas prefabricados es relativamente moderno. En España está generalizado para cerramientos de naves industriales y de edificios del sector terciario pero en viviendas todavía es escaso. A principios del siglo XX los cerramientos de tipo prefabricado eran anecdóticos en nuestro país. Hasta los cerramientos que requerían una gran superficie como los del sector industrial eran ejecutados mediante técnicas tradicionales como la fábrica de ladrillo. Incluso la introducción de nuevos materiales que vino de la mano del modernismo obvió la prefabricación y se centró en los oficios tradicionales. No fue hasta los años 50 con el desarrollismo cuando se comenzaron a instalar los primeros sistemas. Fuera de nuestro país, en Estados Unidos ya en los años 30 se apostó por la rapidez y la economía que ofrecen estos productos. Y no solo para el sector industrial sino también en los grandes rascacielos que se construyeron en ciudades como Detroit y Nueva York.

Actualmente los sistemas de fachadas industrializadas están presentes tanto en edificaciones de tipo industrial como para el sector terciario y residencial. Como ejemplos de tipologías de cerramientos industriales podemos citar los de chapa plegada u ondulada, los de placas tipo “sándwich”, etc. En el sector terciario se suele utilizar con frecuencia la tipología de muro cortina en todas sus variantes. Para vivienda se suele utilizar una tipología que permita el trasdosado como el muro de hormigón armado trasdosado con placas de cartón yeso.

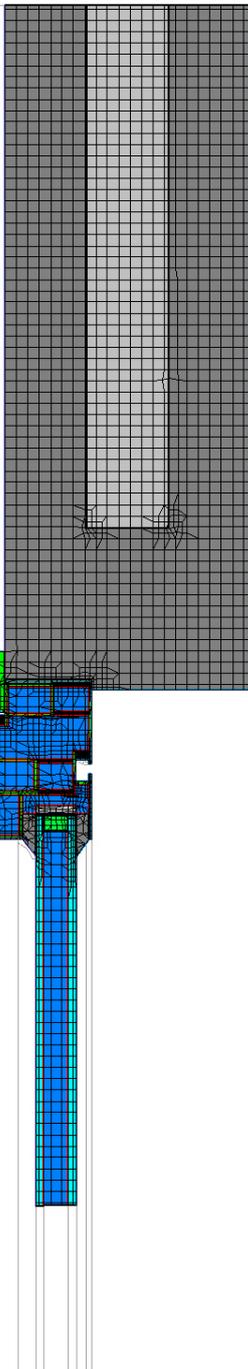
Cuando se proyecta un edificio o nave, se tiene en cuenta en el cálculo del cerramiento la transmitancia total y, mediante programas como LIDER, se calcula la demanda energética, teniendo en cuenta los puentes térmicos existentes por las distintas uniones de los elementos que conforman la estructura y los cerramientos. Con estos programas y formas de cálculo se dimensiona un cerramiento y se analizan los tipos de encuentros entre elementos lo que suele ser suficiente para asegurarse de que el cerramiento supera las necesidades que prescribe la ley. Cuando, por otro lado, queremos conocer el alcance del puente térmico no solo debido a la disposición de las intersecciones entre el cerramiento y la estructura sino también entre las distintas capas y elementos de anclaje, la cosa se complica.

Por todo esto, se hace necesario el análisis en profundidad mediante otros métodos para conocer el comportamiento térmico de los encuentros entre los cerramientos, las

carpinterías y los anclajes entre estos y encontrar su forma de unión óptima con el fin de minimizar los puentes térmicos.

2. METODOLOGÍA.

2.1.- BREVE INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE ELEMENTOS FINITOS.



Para encontrar los puentes térmicos que hay entre el elemento prefabricado, el resto del cerramiento y la carpintería de los elementos a los que se haya anclado hace falta el cálculo mediante métodos informáticos. La complejidad de las fórmulas empleadas para el cálculo, el nº de iteraciones necesarias y la cantidad de puntos a calcular e interpolar necesitan de una potencia de cálculo a la que hemos tenido alcance desde hace relativamente poco tiempo.

El programa informático que hemos elegido para buscar los puentes térmicos funciona mediante elementos finitos. No es objeto de este trabajo analizar en profundidad la teoría de cálculo térmico por elementos finitos, es más, hemos seleccionado el programa por su facilidad de uso.

A grandes rasgos el análisis mediante elementos finitos funciona de la siguiente manera: Primero hemos de seleccionar el conjunto de fórmulas en su forma variacional. Para este caso, hay que usar las ecuaciones térmicas como la Ley de Fourier con una temperatura y flujo definidos, la Ley de Newton para intercambio de calor, etc. Se calculará la ecuación de conducción térmica bidimensional en su forma diferencial, según la fórmula:

$$(k_{11} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_{22} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}) + Q(x, y) = 0 \text{ in } \Omega$$

Donde K_{11} y K_{22} son conductividades en las direcciones x e y y $Q(x,y)$ es la generación de calor interna conocida por unidad de volumen.

El segundo paso es seleccionar la sección bidimensional a analizar y asignar puntos en los que se calcularán los valores térmicos en cada uno. Para calcular los valores en el modelo

Ejemplo: mallado de un modelo

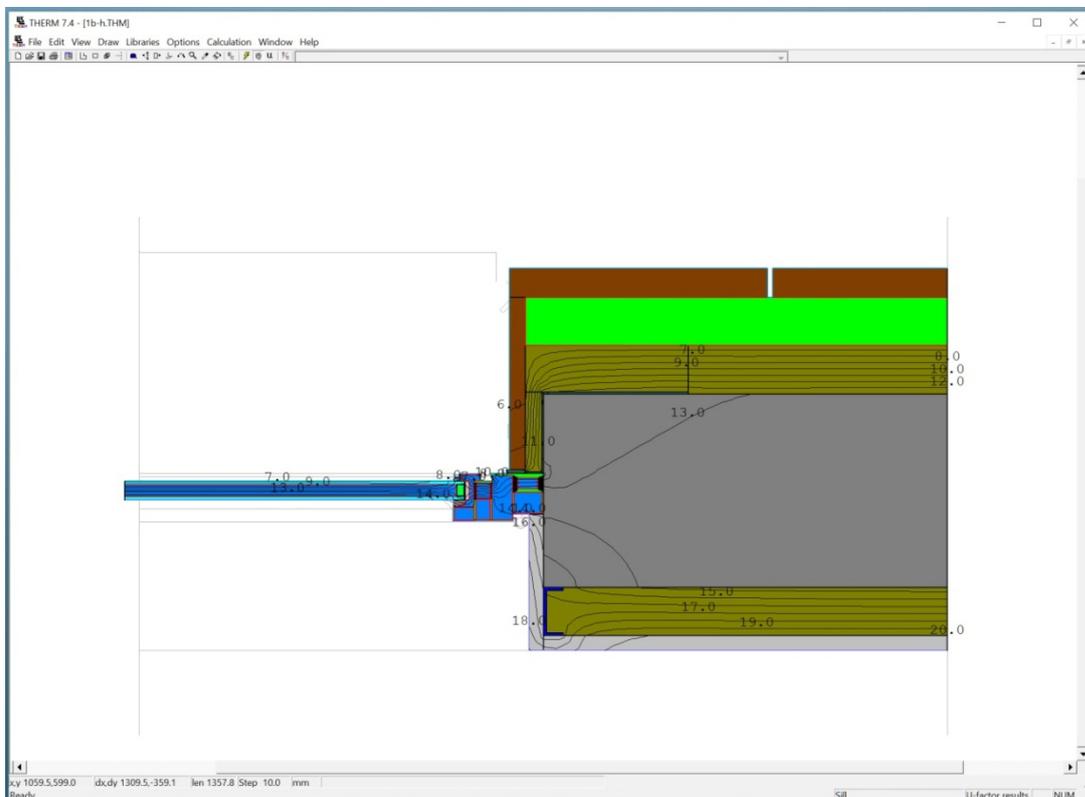
entre esos puntos, se unen entre sí creando una malla e interpolando los valores en ella. Cuanto más cerca estén los puntos entre sí y la malla sea más estrecha, mejor será la precisión de los valores hallados por las ecuaciones y su interpolación.

Con los resultados para cada punto y sus valores interpolados de la malla, el programa puede presentar de forma gráfica sobre el modelo o numérica los parámetros térmicos que se hayan calculado previamente. Estos serían temperatura para cada punto, flujo térmico, mallado, etc.

2.2.- JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL PROGRAMA

LBNL Therm 7 es un programa de la Universidad de California que está certificado por el organismo de los EEUU encargado de la eficiencia energética (Assistant Secretary for Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Building Technology, Building technologies Program of the U.S. Department of Energy). En Estados Unidos se utiliza, junto al programa LBNL Window para calcular los puentes entre carpinterías, sistemas de acristalamiento y cerramientos, así como la intersección de distintos sistemas constructivos.

Como decíamos anteriormente, el programa hace solo un tipo de cálculos térmicos pero ello hace que sea de uso sencillo y muy estable. Al utilizar un conjunto fijo de fórmulas de cálculo y permitir solo actuar sobre los parámetros como % de error, densidad de mallado, etc, libera al usuario de la tarea de programar complejas fórmulas en la máquina. Por supuesto, debido a esta rigidez inicial, el uso está limitado al ámbito para el que fue programado, que coincide con el objetivo de este proyecto.



Ventana de LBNL Therm 7

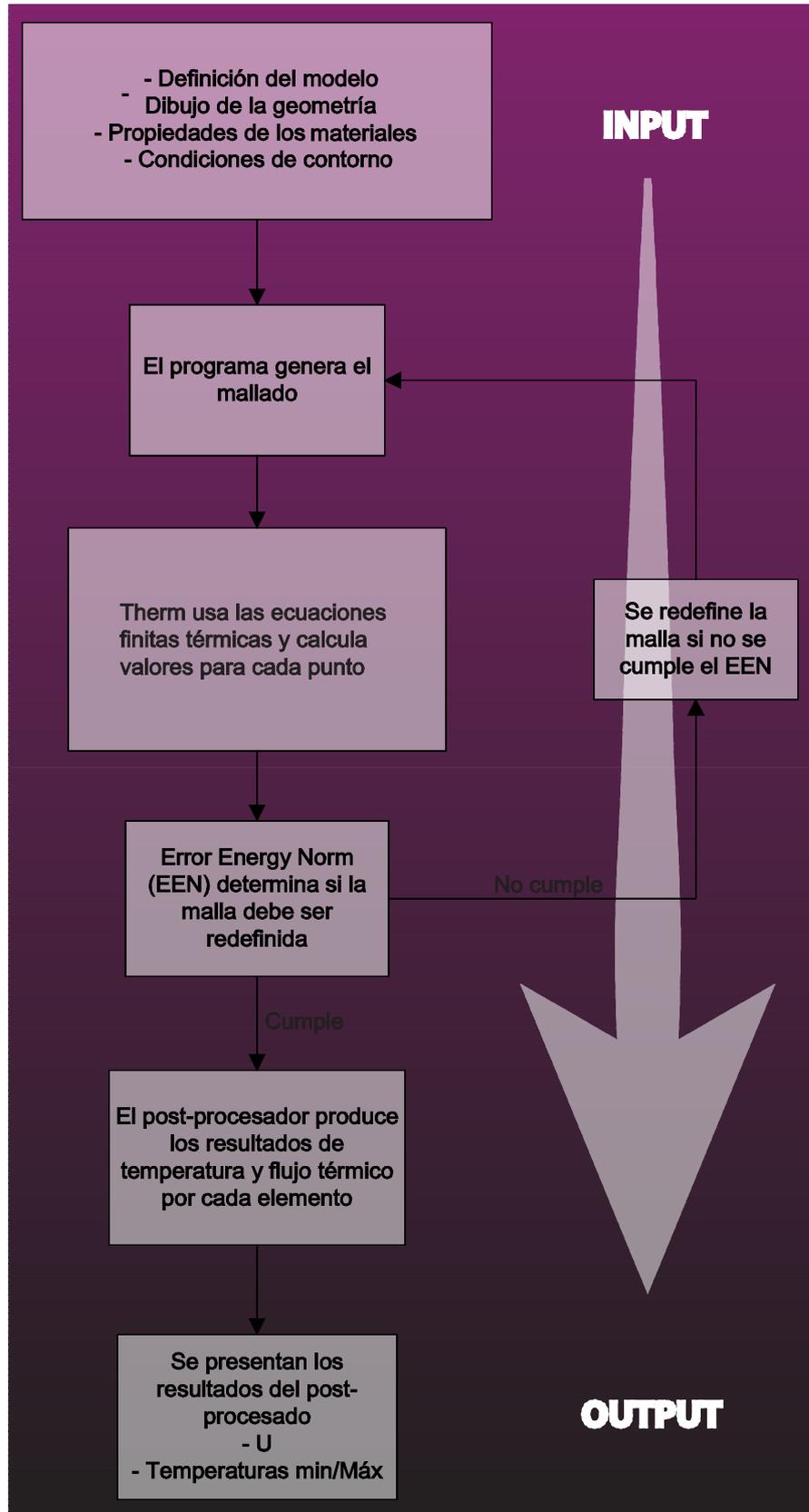
2.2.- FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA.

Ahora describiremos el procedimiento interno que sigue el programa desde la entrada de los datos, el procesado y la salida. Primeramente el usuario debe introducir el modelo a analizar, dibujando con las herramientas del programa. A cada polígono cerrado se le asigna un material con propiedades físicas y se asignan las condiciones de contorno y las variables como el tamaño de la malla y la tolerancia, el error admisible, las unidades de trabajo, el nº de iteraciones y el tamaño máximo del árbol de mallado.

Una vez introducidos los parámetros anteriores el programa procede a situar los puntos de cálculo dentro del modelo y a generar el mallado. Si no ha podido cerrar el mallado con los parámetros elegidos por el usuario y las tolerancias establecidas, producirá un error aconsejando al operario cómo subsanarlo. Una vez establecida la malla con éxito, procede al cálculo de las ecuaciones para cada punto y su interpolación en la malla. En este momento el programa determina si se ha realizado el cálculo con éxito dentro de los márgenes de error de cálculo. Si no lo ha logrado vuelve a generar la malla intentado solucionar el punto conflictivo para minimizar el error. De esta forma la malla se afina en algunos puntos de manera iterativa hasta cumplir con el error admitido.

Después del cálculo el programa almacena en la memoria los resultados obtenidos. Cuando el operario lo desee puede mostrarlos en pantalla de forma gráfica o numérica. La forma gráfica de representación puede mostrar la malla, las líneas de flujo térmico, las isotermas, los gradientes de temperatura en colores, el flujo en colores, etc. Como el programa no es demasiado ágil en la representación gráfica, es mejor no representar los datos en pantalla hasta que sea necesario.

El programa sigue la normativa estadounidense NFRC 100 (National Fenestration Rating Council) para la medición y comparación del rendimiento energético de elementos constructivos como carpinterías y sus uniones con el cerramiento para el cálculo de la transmitancia. El proceso de cálculo térmico que sigue está definido por la normativa ISO 15099.



Algoritmo de Therm 7

2.3- LIMITACIONES.

El programa Therm 7 está pensado para cumplir una función específica, el análisis de puentes térmicos en secciones constructivas. No es como otros programas generalistas de cálculo por elementos finitos en los que se puede reprogramar las fórmulas y calcular distintos aspectos tanto físicos como mecánicos del sujeto a analizar. El programa utilizado solo puede calcular flujos de calor bidimensionales y de régimen estacionario.

Hemos observado que los resultados arrojados en los contornos del objeto, donde la sección en estudio se acaba con la línea que define la temperatura estática que queremos alcanzar, no son totalmente fiables, teniendo un comportamiento extraño. Para poder salvar este obstáculo hemos colocado estos límites lo suficientemente alejados del elemento que nos interesaba analizar dentro de la sección. La falta de precisión en esta zona puede ser debida al uso de un mallado automático y a la interpolación de las soluciones en puntos demasiado separados.

También presenta ciertas limitaciones en la intersección entre cámaras de aire y límites adiabáticos. Cuando una sección acaba en un límite adiabático y corta una cámara de aire, las condiciones limítrofes entre la cámara y la línea adiabática son distintas pero coincidentes, lo que puede generar errores en el cálculo. Esto puede paliarse como anteriormente hemos descrito, mediante el centrado del modelo en el elemento a analizar, otorgando el suficiente espacio entre los límites y éste.

En cuanto a la salida en formato imagen, solo podemos guardarla imprimiéndola o haciendo una captura de pantalla. No ofrece la opción de exportar la imagen obtenida. La máxima resolución que obtendremos con la captura de pantalla será la que tenga nuestro monitor. Si optamos por imprimir en PDF la imagen creará un archivo vectorial. Este archivo colorea el modelo siguiendo la malla generada para el cálculo por lo que es tremendamente pesada y difícil de manejar.

Estas limitaciones son un impedimento para utilizar los algoritmos del programa para otros fines de los que se concibió pero a cambio concede al usuario la facilidad de uso de una aplicación ofimática. El manejo, una vez leído el manual y visto algunos ejemplos, es fluido y casi intuitivo, permitiendo un flujo de trabajo ágil.

Debido a la manera de representar gráficamente en pantalla el modelo con la solución dentro de una malla, el redibujado de ésta puede ser muy lento. Un cambio del foco de la ventana, el movimiento de ésta o cualquier acción puede llevar al programa a intentar redibujar el modelo por lo que se necesita cierta experiencia para impedir que el programa entre en un bucle y cuelgue la aplicación o el sistema.

3- USO DE LBNL THERM 7.

A continuación describiremos detalladamente el proceso que hemos seguido para la configuración, introducción de datos y la obtención de los resultados en el programa.

Primero hemos seleccionado los detalles constructivos a analizar (justificaremos esta elección más adelante) para después dibujarlos en un programa de CAD. Una vez dibujados, aislamos cada uno de los sujetos y los exportamos a DXF.

Con los dibujos preparados arrancamos Therm. Hay que generar una biblioteca de materiales en los que figuren las características térmicas. Estos materiales se guardan en forma de base de datos y se pueden cargar para el uso posterior en otros proyectos. También se definen las condiciones que conformarán el contorno del modelo. Hemos definido las condiciones de invierno (5° - 21° C) y verano (25° - 30° C), además de las condiciones adiabáticas necesarias. Más adelante justificaremos las condiciones seleccionadas.

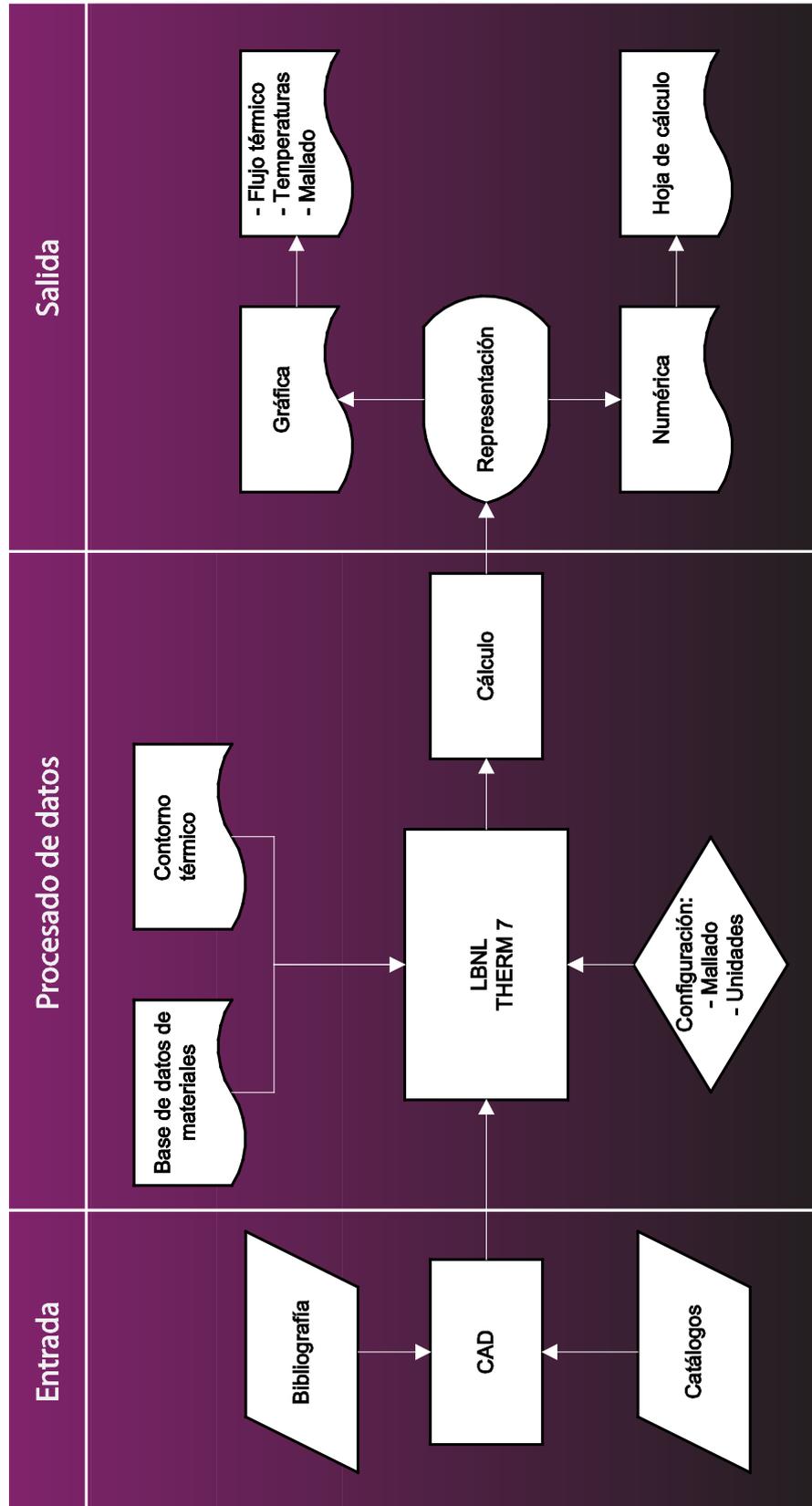
Con las condiciones de contorno y los materiales ya podemos definir el modelo en el programa. Hay que dibujar polígonos cerrados de material y no se permite dejar huecos internos sin definir; deben ser considerados como cámaras. Una vez dibujados se le indica al programa que cree los contornos alrededor del modelo. Los crea automáticamente por lo que deberemos cambiarlos según nuestras necesidades. Antes de proseguir, hay que marcar al programa qué contorno debe considerar como interior y cuál es el exterior.

Antes de calcular debemos revisar que las unidades sean las deseadas. Aunque esto se puede cambiar después del cálculo es mejor seguir un procedimiento estructurado para no dejarnos nada por el camino. También deberemos decirle al programa cual es la tolerancia de la malla, el % de error máximo de cálculo (afecta al nº de iteraciones) y el nº máximo de iteraciones en mallado.

Una vez tenemos todo configurado podemos calcular. Si hemos tenido éxito aparecerán las líneas isotermas en pantalla sobre el modelo. Podemos cambiar el tipo de información mostrada y los rangos de las gráficas. También podemos exportar los resultados de transmitancias térmicas lineales biaxiales a un archivo de texto para su posterior procesado en una hoja de cálculo.

Como hemos dicho antes, debemos hacer capturas de pantalla para guardar la información gráfica porque el programa no exporta.

Posteriormente hemos montado las imágenes en correspondencia diédrica para un análisis más rápido.



4. PARÁMETROS QUE CUANTIFICAN UN PUENTE TÉRMICO.

Una vez tenemos los datos gráficos y numéricos tenemos el problema de cómo cuantificar los puentes térmicos. Gráficamente es sencillo ver dónde están los puentes térmicos si se ha definido correctamente la escala de representación de los gradientes térmicos. Las zonas de los puentes aparecen iluminadas en la vista de flujo térmico. Otra cosa es la cuantificación numérica. Si lo que pretendemos es comparar el estado de un puente térmico antes y después de actuar en él necesitaremos analizar los datos numéricos que nos da Therm.

Therm exporta las transmitancias térmicas medias para los eje X e Y independientemente, indicando su longitud. Esta transmitancia sería resultado de hacer la media del sumatorio de las transmitancias diferenciales para cada eje. De esta manera podremos comparar la transmitancia de un modelo y ese mismo modelo modificado pero no otro distinto porque cambiará tanto la longitud como los materiales y su disposición, lo que altera la transmitancia diferencial en el eje para todos los puntos. Esto nos limita la comparación entre distintas soluciones constructivas pero es perfecto para comparar variaciones sobre un mismo modelo.

Debemos operar estas transmitancias para llegar a unos parámetros que nos permitan la comparación. Estos son los siguientes:

- Transmitancia térmica total en 2D:
- Transmitancia térmica lineal
- Factor de temperatura superficial

Con la transmitancia térmica total en 2D (L2D) podemos ponderar el valor de salida del programa con la longitud del eje del modelo. De esta forma nos aseguramos la proporcionalidad de la transmitancia con la longitud.

$$L2D = Ufactor * l \left(\frac{W}{mK} \right)$$

La transmitancia térmica lineal (ψ) es proporcional a L2D e incluye en el cálculo la transmitancia U.

$$\psi = L2D - (U * l) \left(\frac{W}{mK} \right)$$

Estos dos parámetros describen un modelo de comportamiento térmico mejor cuanto menores son sus valores. Tendremos especial cuidado en seleccionar el eje en el que vamos a calcular las propiedades térmicas. Este eje debe ir en la dirección del flujo principal de calor por lo que será perpendicular a las líneas que conforman el interior y el exterior del modelo analizado.

Por último calcularemos el factor de temperatura superficial (f_{RSI}). Para ello debemos medir la temperatura más baja alcanzada en el interior del modelo en condiciones de invierno.

$$f_{RSI} = \frac{T_e - T_{si}}{T_e - T_i}$$

Para las condiciones que hemos elegido en invierno (5° - 21° C) la fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$f_{RSI} = \frac{5 - T_{si}}{5 - 21}$$

Como podemos ver, el factor de temperatura superficial relaciona el punto más frío que alcanza el interior de la sección en invierno respecto a las temperaturas exteriores e interiores. Cuanto mayor sea este factor mejor porque nos estará diciendo que la temperatura mínima en el interior se acerca a la deseada.

Hay un escollo en la utilización de este último marcador térmico. La precisión con la que el programa muestra la temperatura superficial en un punto es de décimas de grado y en ocasiones el error es mayor que la precisión con lo que este factor de temperatura superficial se debe interpretar con cuidado. Además, es posible que el puente térmico se haya identificado y corregido pero que el factor de temperatura superficial no haya cambiado. Esto es porque este factor se refiere a solo un punto del modelo que puede no haber mejorado aunque las condiciones globales sí lo hayan hecho.

5- ANÁLISIS DE LOS SUJETOS EN ESTUDIO.

5.1- ELECCIÓN DE LOS SUJETOS DE ESTUDIO. JUSTIFICACIÓN GENERAL.

Para seleccionar los sujetos a estudio hemos hecho una clasificación de los tipos de cerramiento industrial y hemos seleccionado al menos uno de cada tipología.

No hemos encontrado datos estadísticos sobre el uso de las distintas tipologías en nuestro país. De ser así, la clasificación de los sujetos de interés vendría dada por la frecuencia de uso.

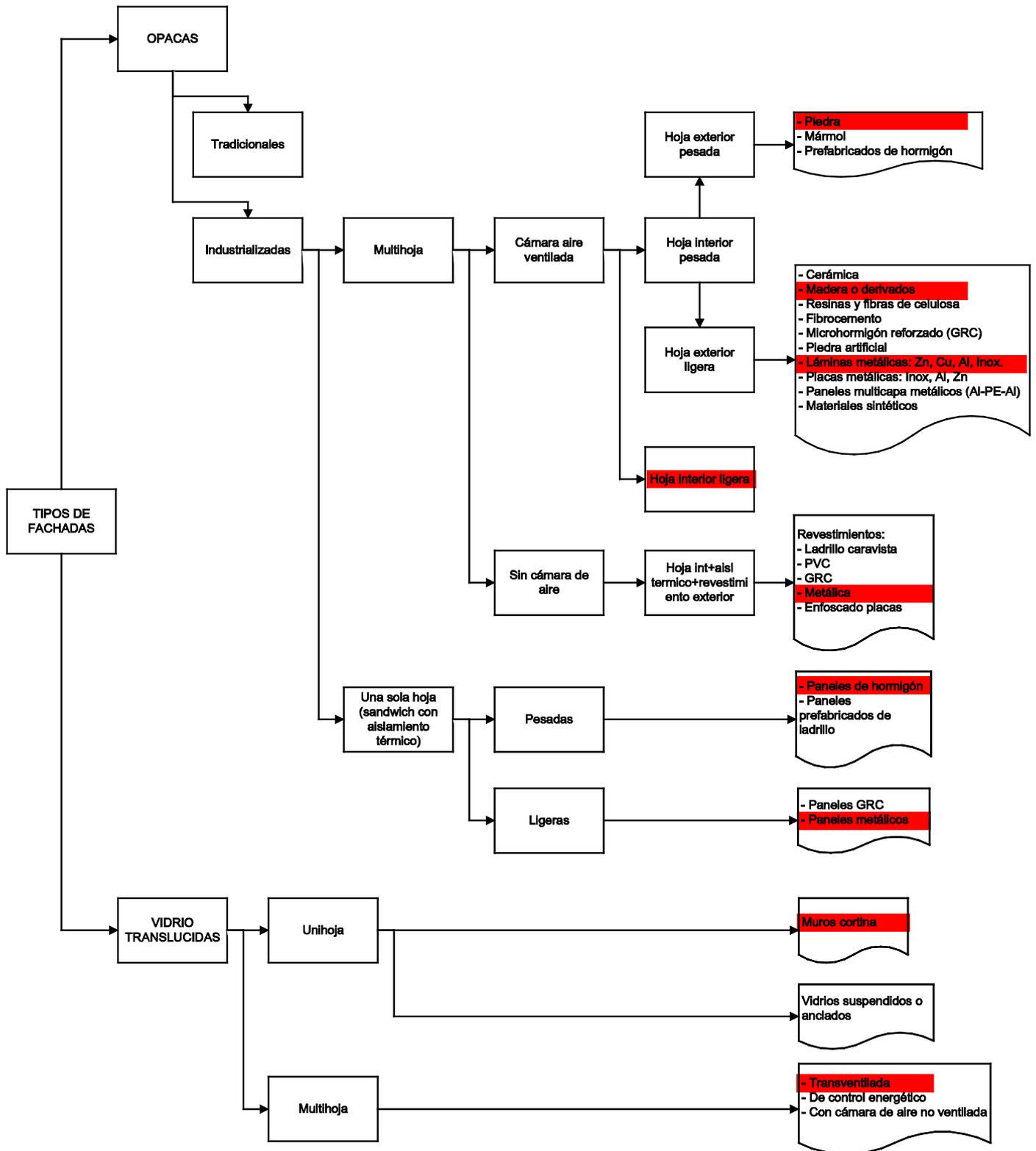
La clasificación de cerramientos que hemos utilizado ha sido la expuesta en la bibliografía, concretamente en la obra de Ana Sánchez-Ostiz Gutiérrez “Fachadas. Cerramientos de edificios. Ed. CIE, 2011”. En ella se clasifican los cerramientos en fachadas tradicionales e industrializadas. Dentro de las industrializadas distingue entre nº de hojas, si son pesadas o ligeras y termina por enumerar las tipologías según el material de las hojas. Hemos considerado que la clasificación era correcta y estaba muy documentada por lo que la hemos tomado como modelo para seleccionar los sujetos.

De cada grupo hemos seleccionado una tipología representativa, con un material que hemos estimado como representativo de su clase por su uso común en la construcción.

De la mayoría de los sujetos seleccionados hemos analizado tres vistas, correspondientes a la sección horizontal por el hueco y dos verticales que muestran la unión de la carpintería con el dintel y con el vierteaguas.

Hemos obviado el análisis de las fachada de vidrio unihoja de vidrios suspendidos porque no se suelen utilizar como tales para el cerramiento de forma aislada. Además, por el sistema que utilizan para anclarse a la estructura, el resultado es similar al muro cortina (aunque mucho menos eficiente térmicamente).

La abundancia de vistas nos servirá para encontrar los puentes térmicos de manera gráfica en la sección donde se produzcan. Es por esta abundancia que hemos tenido que seleccionar de los resultados obtenidos de los sujetos solo una vista para proponer una solución de rehabilitación para su puente térmico. El problema del puente se suele reproducir en todas las secciones de un sujeto pero siempre hay alguna en la que destaca más por la confluencia de distintos materiales o elementos de anclaje. Es esta vista más desfavorable en la que nos hemos centrado para las propuestas.



Esquema de tipologías utilizado. Resultados en rojo los sujetos seleccionados para su estudio

5.2.- MATERIALES UTILIZADOS Y CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS.

El listado de materiales y sus características se exponen en su correspondiente anexo, al final del presente proyecto. Para el modelado físico es necesario conocer la conductividad térmica y la emisividad espectral.

Hemos extraído esta información sobre materiales en el documento reconocido “Catálogo de soluciones constructivas del CTE”, del Ministerio de la Vivienda y el Instituto Eduardo Torroja.

Para definir las condiciones del contorno para invierno y verano, hemos usado las recomendaciones del reglamento de instalaciones térmicas en edificios, RITE, que recomienda para establecer condiciones de confort térmico:

- Invierno: Temperatura exterior de cálculo =5°C; Temperatura interior de confort=21°C
- Verano: Temperatura exterior de cálculo =30°C; Temperatura interior de confort=25°C

Para calcular las características de resistencia térmica de las cámaras de aire podríamos utilizar las señaladas en el Código Técnico de la Edificación, según el nivel de ventilación. Como el programa ya tiene en cuenta en sus ecuaciones el cálculo de estas cavidades, vamos a utilizar las que trae Therm por considerarlas más precisas que las predimensionadas por el CTE.

Tras un calibrado del programa de forma empírica,, hemos situado la tolerancia de la gráfica de flujo térmico en un rango que va de 0 a 100W.

5.3.- DESCRIPCIÓN DE LOS SUJETOS POR CASO.

A continuación pasaremos ya a describir los sujetos seleccionados y a representarlos gráficamente. Al final de la descripción presentamos una tabla con un resumen de los sujetos y la tipología utilizada.

Tenemos que señalar que nos ha sido imposible simular el comportamiento térmico del perfil omega que forma la estructura auxiliar donde se anclan las placas de cartón yeso. El espesor de estos perfiles es de 1.3mm y el programa tenía problemas con el mallado del mismo. Hemos optado, en los sujetos que lo utilizan, por incluir el perfil reforzado que se ofrece en el catálogo de “Pladur”. Este perfil se incluye para muros con este sistema que presentan una altura considerable o una sollicitación de cargas fuera de lo común para una partición o trasdosado.

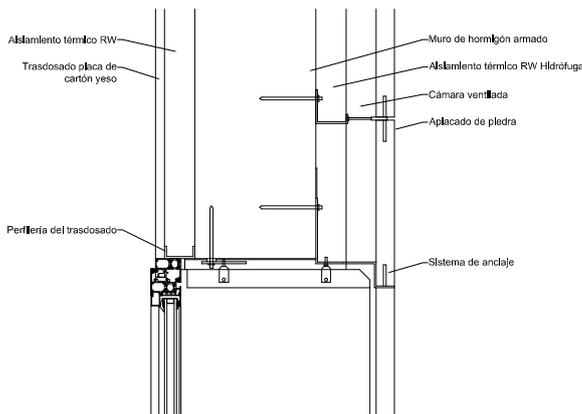
5.3.1-. Sujeto 1a: Haces interiores.

Se trata de un cerramiento de muro de hormigón armado de 30cm de espesor, trasdosado con placas de cartón yeso de 1.5cm y aislamiento térmico de 5cm de lana de roca, con su estructura auxiliar de 1.3mm en forma de perfiles montantes y largueros de sección omega. En el exterior presenta una capa de aislante de lana de roca impermeable, cámara de aire ventilada de 5cm y revestimiento de placas de piedra natural con anclajes de acero inoxidable puntuales a muro.

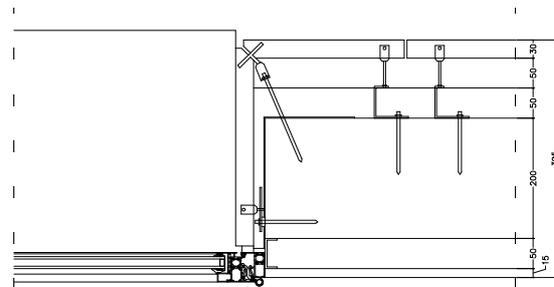
Carpintería de aluminio situada a haces interiores, con rotura del puente térmico y vidrios 4+12+4.

Se ha colocado una lámina impermeabilizante de betún modificado para asegurar la impermeabilización del hueco, según las buenas prácticas constructivas.

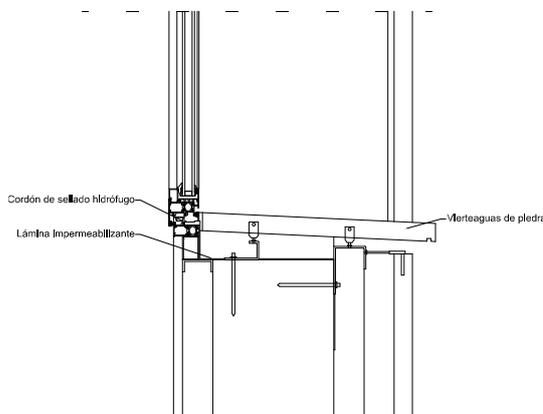
La pieza del vierteaguas ha sido anclada al hueco y el espacio entre el muro y esta ha sido rellenado con lana de roca impermeable



Sección 1a-vs



Sección 1a-h

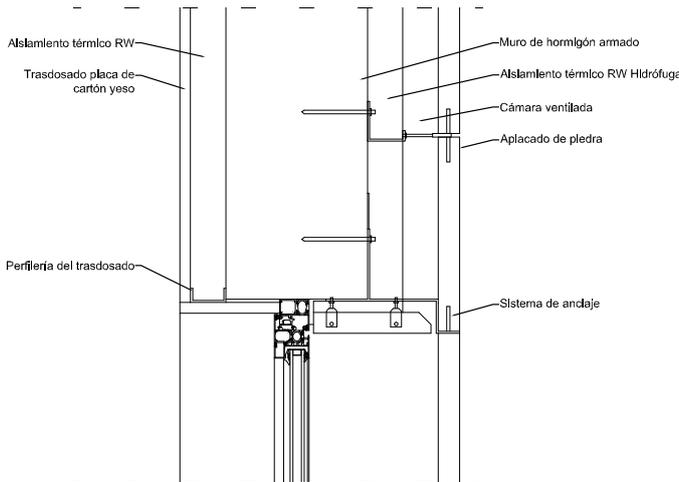


Sección 1a-vi

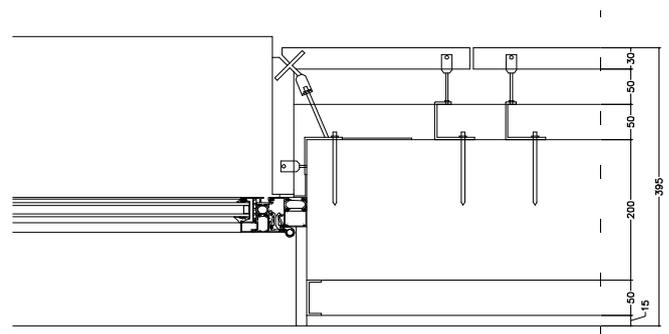
5.3.2.-Sujeto 1b: Haces intermedias.

Junto con el sujeto 1c es una variante de 1a. Los materiales no varían, solo se ha desplazado la carpintería a haces intermedias, trasdosando la repisa en su interior con placa de cartón yeso anclada de forma directa, sobre mortero.

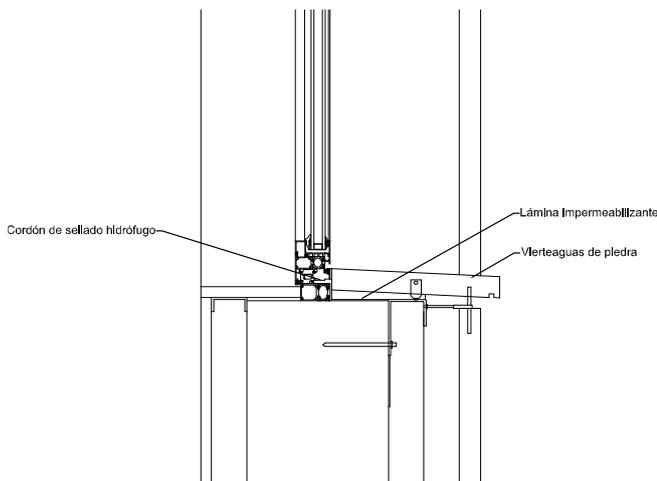
La pieza del vierteaguas se ha acortado aunque el sistema de anclaje no ha variado.



Sección 1b-vs



Sección 1b-h



Sección 1b-vi

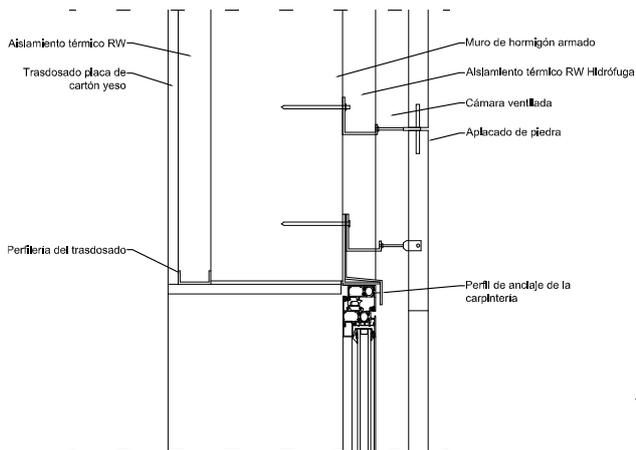
5.3.3.- Sujeto 1c: Haces exteriores.

Por último para el sujeto 1, analizaremos la variante de haces exteriores.

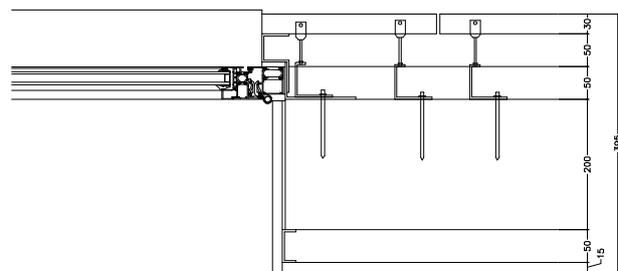
La repisa, los telares y el dintel ha aumentado en su parte interna, siendo trasdosada con placas de cartón yeso de forma directa.

El problema viene al anclar la carpintería fuera del muro de hormigón que conforma el núcleo del cerramiento. Se ha dispuesto un perfil de acero en Z por este motivo, que sirve de anclaje y a la vez protege la carpintería del agua que puede caer por la cámara de aire.

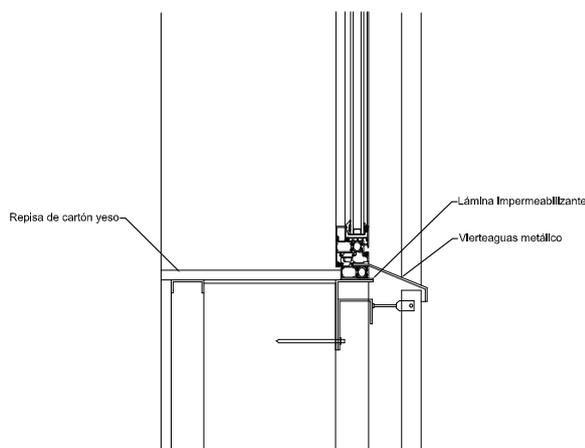
El vierteaguas es ahora demasiado pequeño para situar una pieza de piedra con un anclaje seguro (aunque existen piezas especiales comerciales). En este caso se ha optado por sustituirlo por uno metálico.



Sección 1c-vs



Sección 1c-h



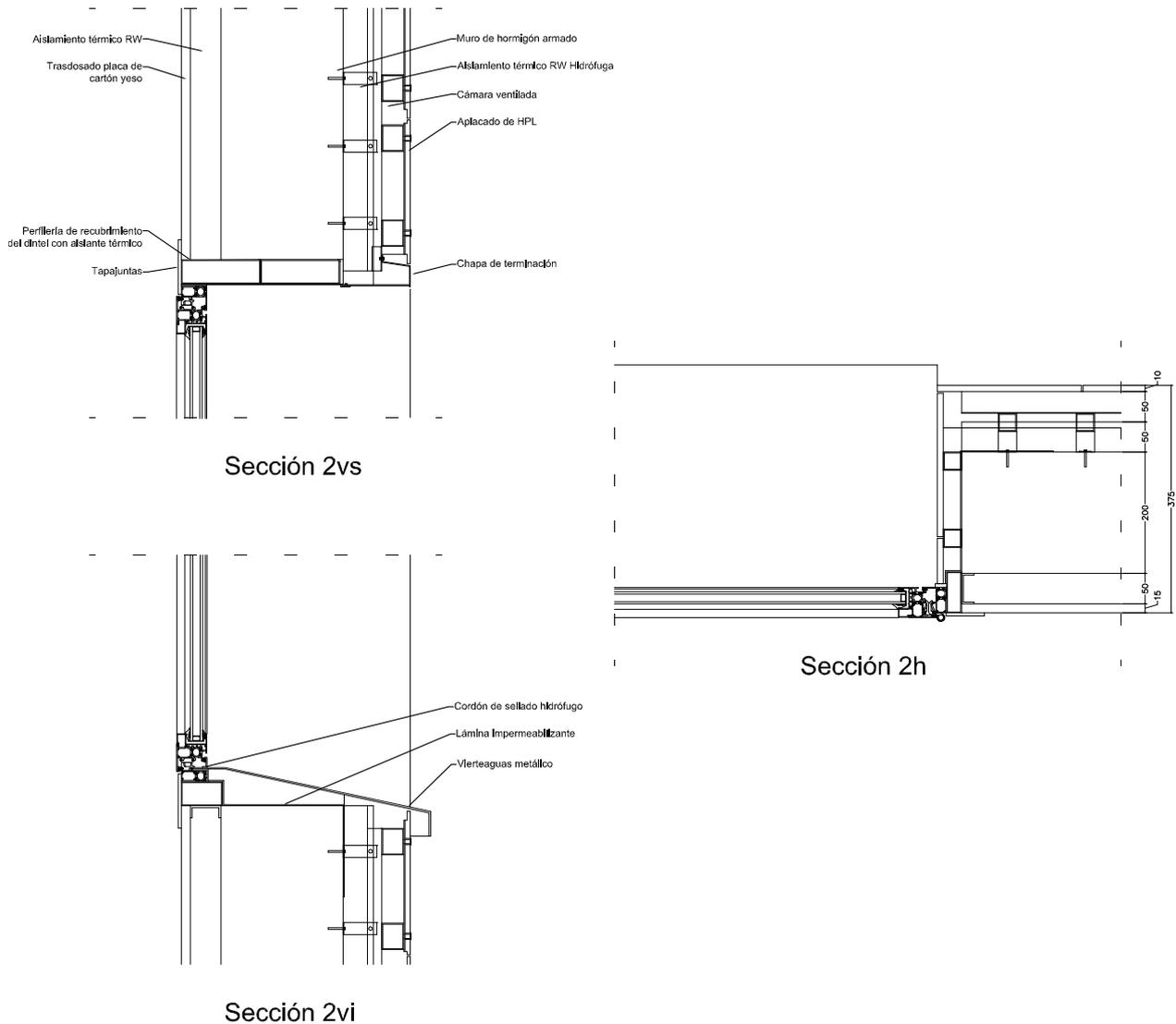
Sección 1c-vi

5.3.4.-Sujeto 2

Cerramiento de muro de hormigón de 30cm de espesor trasdosado al interior mediante placas de cartón yeso de 1.5cm de espesor y aislante térmico de lana de roca de 5cm. En la hoja exterior presenta una capa de aislamiento térmico de 5cm de lana de roca impermeable con una cámara ventilada de 5cm y un paramento vertical de placas de madera laminada a alta presión.

Carpintería metálica de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara 4+12+4.

Hemos elegido esta tipología para comprobar los puentes térmicos que generan los anclajes de las placas de madera y sus diferencias con los anclajes puntuales de la piedra natural. Las piezas que forman el dintel son perfiles huecos, donde se ancla la carpintería.

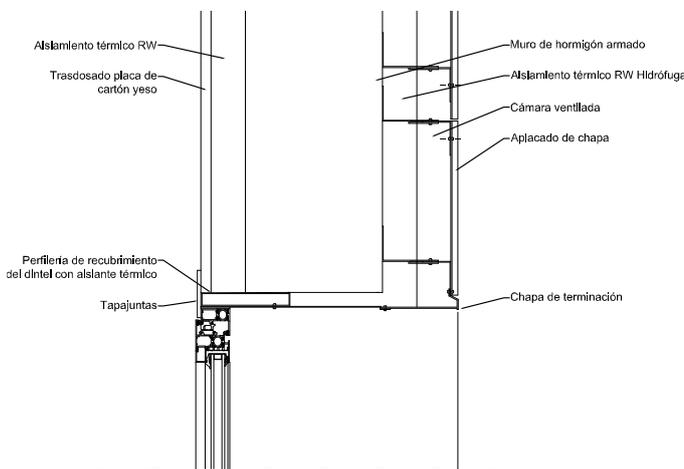


5.3.5.- Sujeto 3

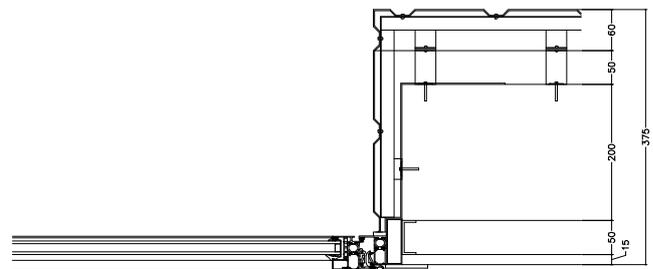
Cerramiento de muro de hormigón de 30cm de espesor trasdosado al interior mediante placas de cartón yeso de 1.5cm de espesor y aislante térmico de lana de roca de 5cm. En la hoja exterior presenta una capa de aislamiento térmico de 5cm de lana de roca impermeable con una cámara ventilada de 6cm y un paramento vertical de placas chapa de acero plegada, anclada puntualmente mediante perfiles en Z al núcleo del cerramiento.

Vierteaguas de metal. Espacio entre cerramiento y vierteaguas relleno con espuma de poliuretano.

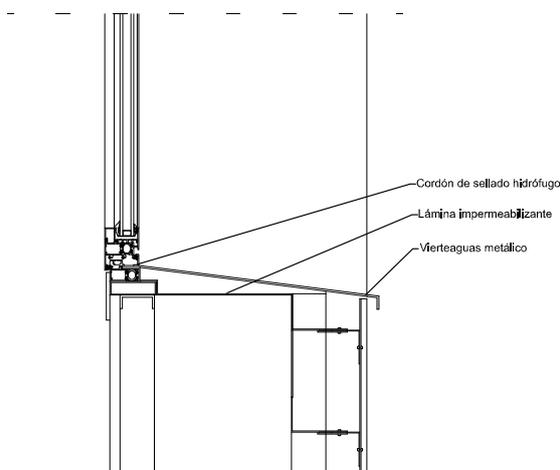
Carpintería metálica de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara 4+12+4.



Sección 3vs



Sección 3h



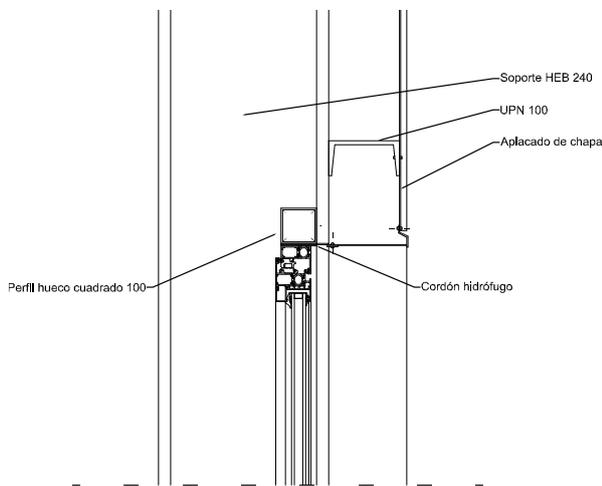
Sección 3vi

5.3.6.- Sujeto 4

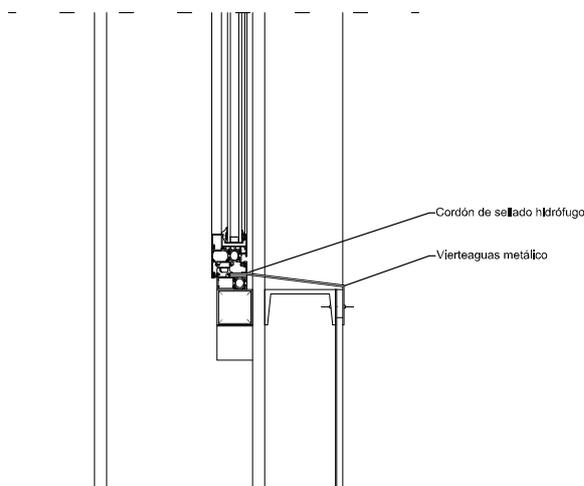
Cerramiento de nave industrial para zonas no habitables, compuesto por una chapa de acero plegado anclada sobre rastreles y estos a su vez a estructura del pórtico.

Carpintería metálica de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara 4+12+4.

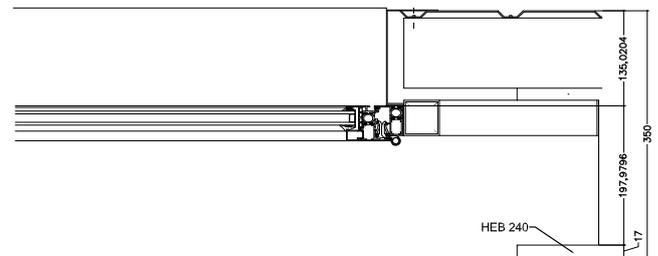
Por supuesto, esta tipología no cumple ninguna norma habitacional; la hemos incluido para comprobar más tarde cómo funcionaría un cambio de uso a zona habitable, añadiendo aislante térmico y trasdosado, y comprobando los puentes térmicos que se generan tras esta actuación.



Sección 4vs



Sección 4vi



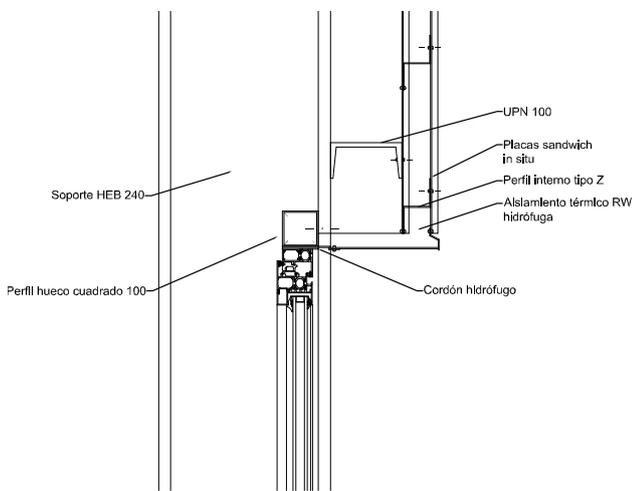
Sección 4h

5.3.7.- Sujeto 5

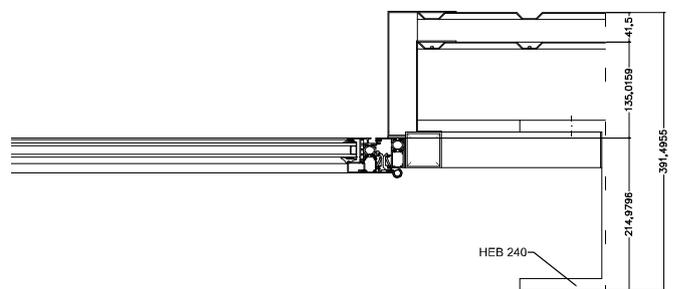
Este sujeto es el resultado de mejorar el sujeto anterior, añadiendo una capa de 4cm de lana de roca y otra lámina de chapa por el trasdós, sujeta a la original mediante perfiles tipo Z.

Carpintería metálica de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara 4+12+4.

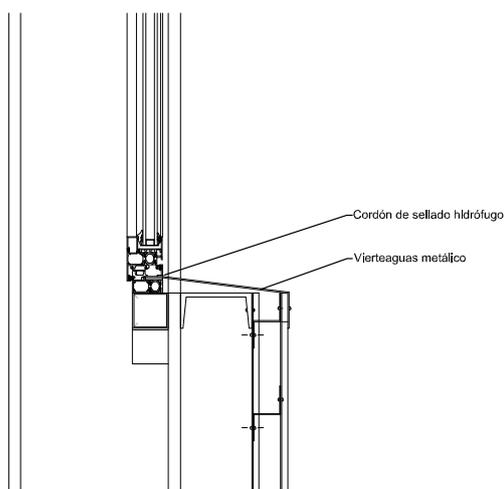
Este cerramiento de tipo industrial presenta una mejora sustancial de la transmitancia, que valoraremos más tarde, junto con la aparición de nuevos puentes térmicos.



Sección 5vs



Sección 5h



Sección 5vi

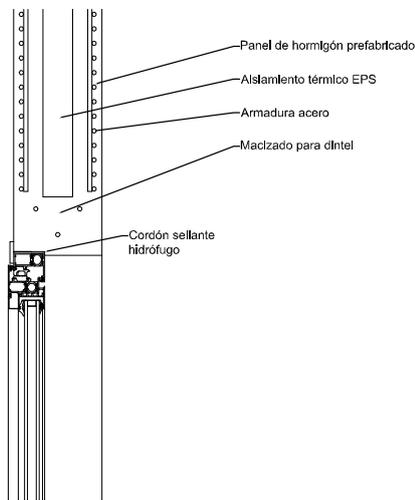
5.3.8.- Sujeto 6

Cerramiento compuesto de panel de hormigón armado prefabricado, con un núcleo de aislamiento térmico de poliestireno expandido, 40+40+40cm.

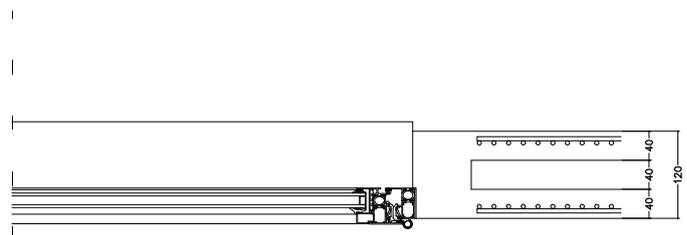
Vierteaguas de chapa metálica Al-PE-Al con aislamiento térmico de espuma de poliuretano entre ella y el muro.

Esta tipología es similar a la utilizada para los cerramientos originales de la escuela de arquitectura de la Universidad Politécnica de Valencia.

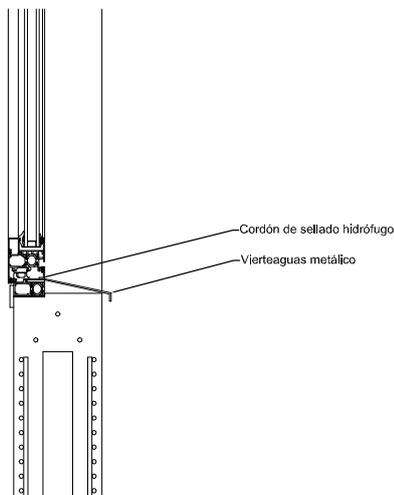
Carpintería metálica de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara 4+12+4.



Sección 6a-vs



Sección 6a-h

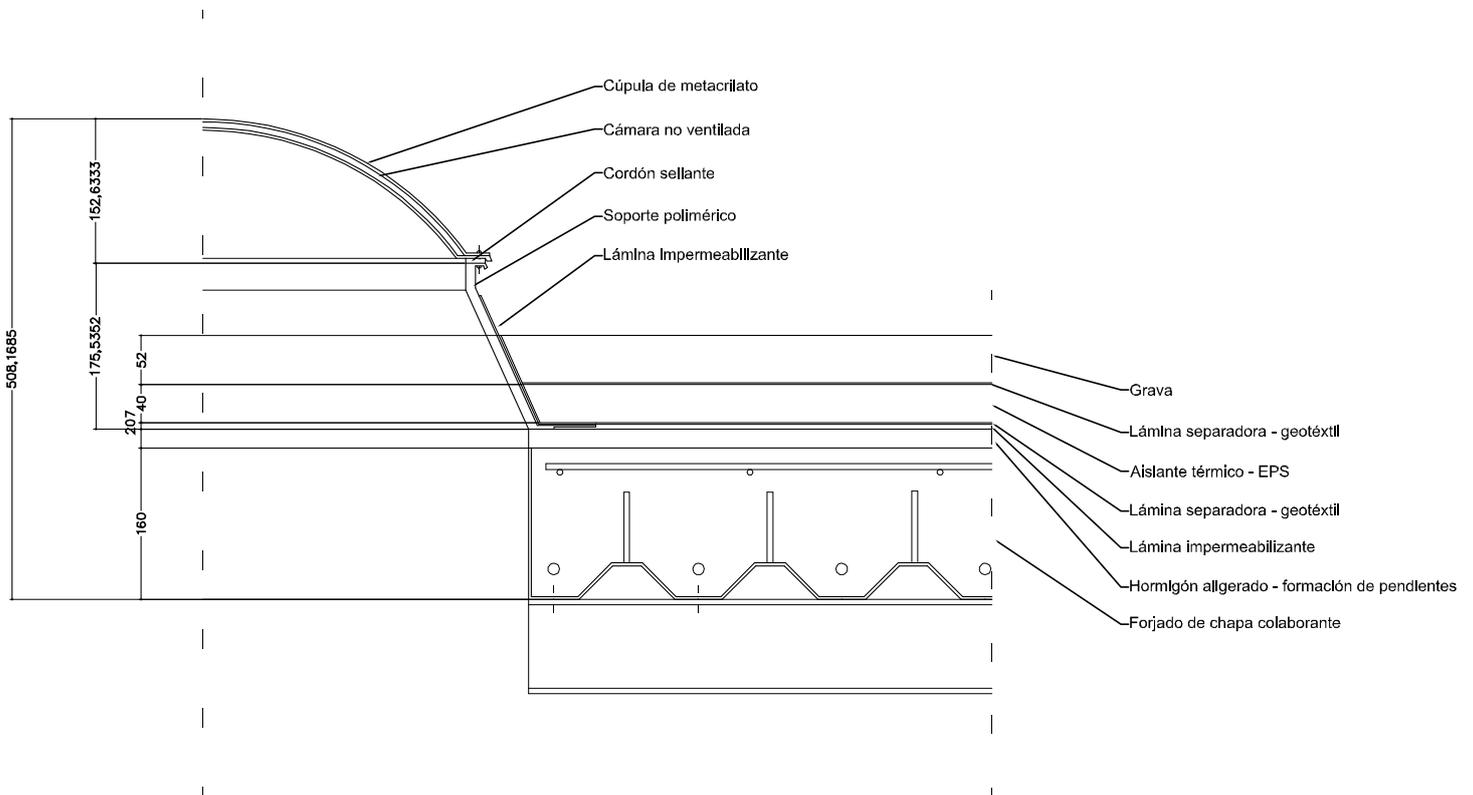


Sección 6a-vi

5.3.9.- Sujeto 7

Para cambiar de tipología e incluir una abertura que no fuese en cerramiento, hemos analizado el detalle de una claraboya.

Esta tipología consiste en una claraboya con cúpula de dos hojas de polimetilmetacrilato con cámara de aire sobre soporte de aluminio con aislamiento térmico interno en forma de panal de abeja de polietileno. La claraboya esta recibida en un forjado de chapa colaborante de 160mm de canto, con una formación de pendientes de hormigón aligerado con arcilla expandida, lámina impermeabilizante de betún modificado, aislante térmico de poliestireno extruido (40mm) y capa de acabado de grava. Láminas separadoras de geotéxtil. Todo ello constituye la tipología de cubierta invertida no transitable.

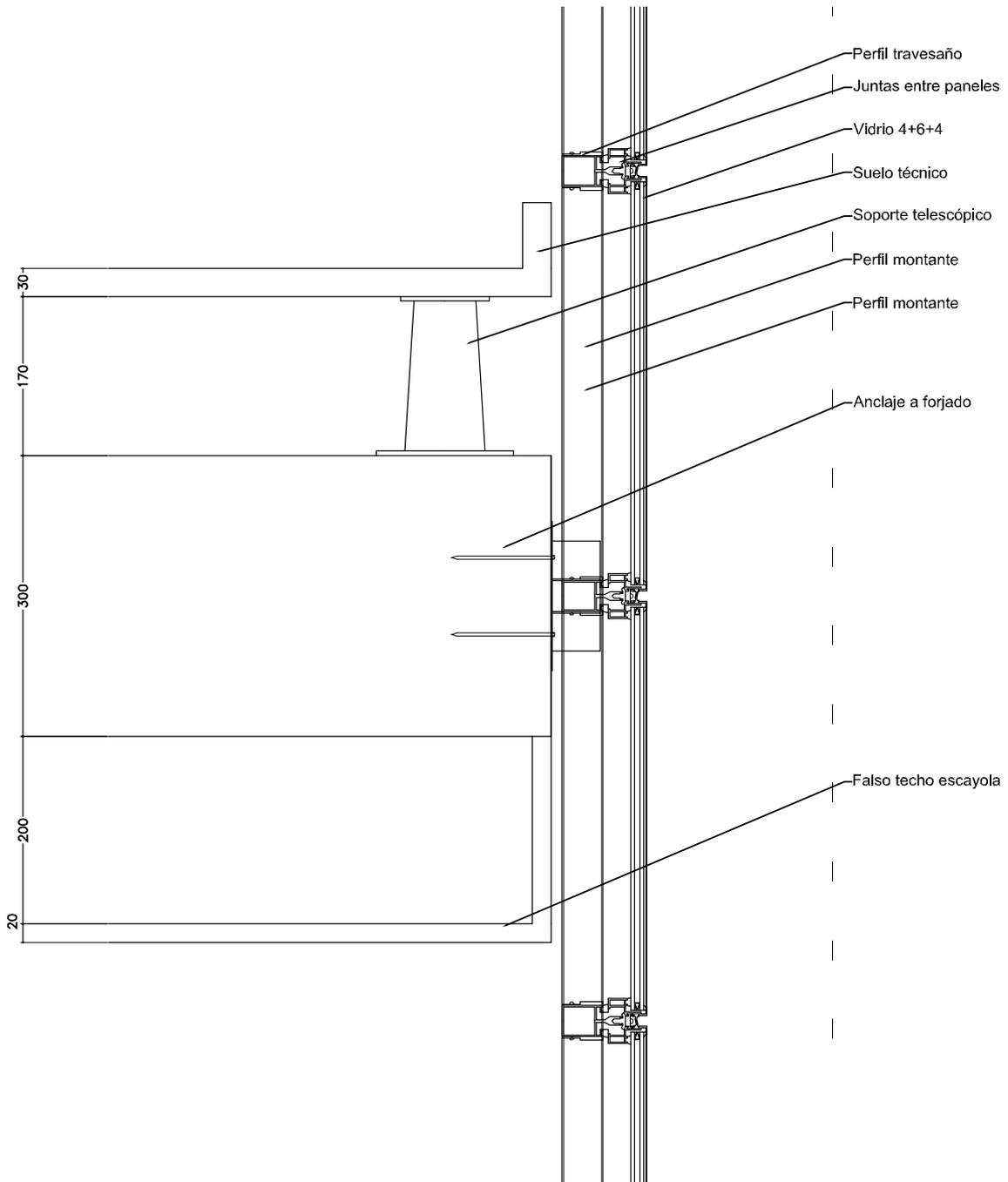


5.3.10.- Sujeto 8

Muro cortina semimodular formado por montantes anclada a forjado y travesaños. Sin tapeta y con junta de vidrios oculta. Vidrios dobles con cámara intermedia 4+6+4.

Anclajes al forjado mediante placa y pernos y atornillada a montante.

Perfilería con rotura del puente térmico.



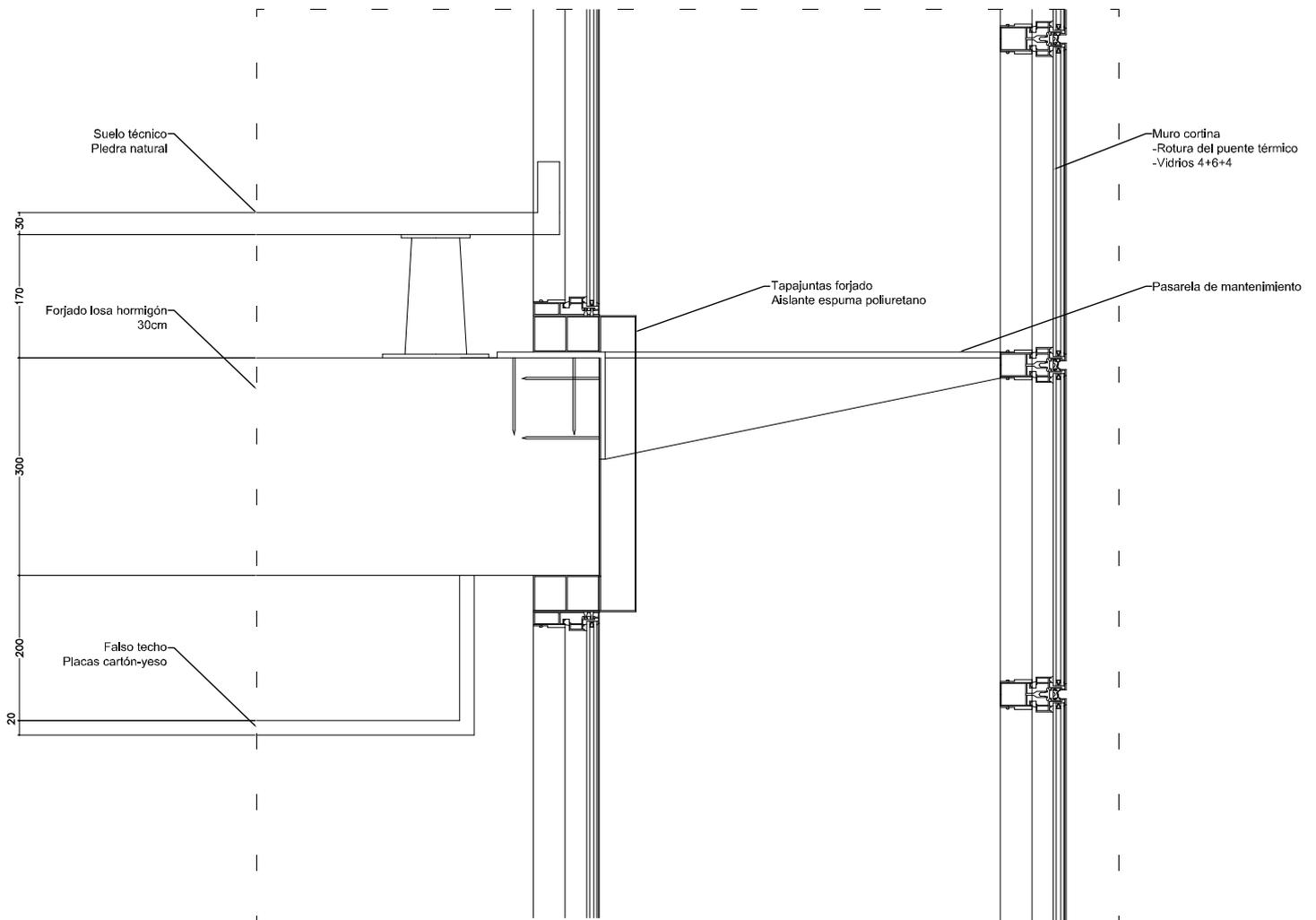
Sección 8-v

5.3.11.- Sujeto 9

Tipología de muro cortina con cámara intermedia y muro de fachada de vidrio. Conviene distinguir entre la hoja exterior, que presenta la tipología de muro cortina por ir anclada a estructura – forjado – y la tipología de muro de vidrio que se ancla a suelo y a techo.

La cámara intermedia está ventilada y tiene pasarela para el mantenimiento. Se ha cubierto el canto del forjado con un perfil hueco con fines estéticos y para servir de apoyo a la carpintería de la hoja interior.

Vidrios dobles con cámara intermedia 4+6+4 en ambas hojas. Carpintería de aluminio con rotura del puente térmico



Sección 9-v

Descripción de los sujetos a estudiar		
SUJETO	Tipología	Descripción
1a	Fachada opaca industrializada multihoja con cámara de aire ventilada y hoja exterior pesada de piedra	Cerramiento de muro de hormigón armado trasdosado con placas de cartón yeso y aislamiento térmico de lana de roca en el interior, transventilado mediante placas de piedra natural con cámara ventilada y aislamiento de lana de roca impermeable. Carpintería batinete de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara. Haces interiores. Solución con anclajes puntuales y pieza del dintel de piedra.
1b	Idem	Idem con haces intermedios. Repisa interior trasdosada mediante placas de cartón yeso directas recibidas con mortero.
1c	Idem	Idem con haces exteriores. Repisa interior trasdosada mediante placas de cartón yeso directas recibidas con mortero.
2	Fachada opaca industrializada multihoja con cámara de aire ventilada y hoja exterior ligera de madera laminada	Cerramiento de muro de hormigón armado trasdosado con placas de cartón yeso y aislamiento térmico de lana de roca en el interior, transventilado mediante placas de madera laminada a alta presión anclada sobre rastreles metálicos, con cámara ventilada y aislamiento de lana de roca impermeable. Carpintería batiente de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara. Haces interiores.
3	Fachada opaca industrializada multihoja con cámara de aire ventilada y hoja exterior ligera de chapa metálica	Cerramiento de muro de hormigón armado trasdosado con placas de cartón yeso y aislamiento térmico de lana de roca en el interior, transventilado mediante placas de acero plegado sobre rastreles metálicos, con cámara ventilada y aislamiento de lana de roca impermeable. Carpintería batiente de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara. Haces interiores.
4	Fachada opaca industrializada una hoja sin cámara y hoja exterior ligera de chapa metálica	Cerramiento de nave industrial compuesto de una única hoja de chapa plegada, anclada mediante rastreles a los soportes del pórtico estructural. Carpintería batiente de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara. Haces interiores.
5	Fachada opaca industrializada una hoja sin cámara y hoja exterior ligera de panel tipo sandwich con chapa metálica	Cerramiento de nave industrial compuesto de una única hoja de panel tipo sandwich, anclada mediante rastreles a los soportes del pórtico. Carpintería batiente de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara. Haces interiores.
6	Fachada opaca industrializada una hoja sin cámara y hoja exterior pesada de panel tipo sandwich con hormigón armado	Cerramiento formado por placa prefabricada de hormigón armado, con núcleo relleno de poliestireno expandido. Vierteaguas de Al-PE-Al con el seno relleno de espuma de poliuretano.
7	Claraboya de cubierta invertida no transitable en forjado de chapa colaborante	Claraboya de metacrilato con carpintería compuesta de aluminio con núcleo de polietileno en panal de abeja. Cubierta plana no transitable sobre forjado de chapa colaborante
8	Fachada de vidrio de una hoja. Muro cortina	Cerramiento mediante muro cortina semimodular anclado a forjado de losa de hormigón armado. Carpintería con rotura del puente térmico, vidrios de doble hoja y cámara 6+4+6mm.
9	Fachada de vidrio multihoja transventilada	Cerramiento de doble hoja con cámara ventilada accesible para mantenimiento y pasarela, compuesto de muro de fachada acristalado y muro cortina exterior. Carpintería con rotura del puente térmico, vidrios de doble hoja y cámara 6+4+6mm.

6.- RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN TÉRMICA.

6.1.- CONSIDERACIONES PREVIAS

Previamente al análisis tenemos que definir el criterio que hemos seguido para modelar los sujetos.

Debido al carácter bidimensional de esta herramienta, hemos tenido que hacer ciertas adaptaciones a los modelos para poder mostrar el comportamiento térmico. Por ejemplo, las secciones de elementos puntuales como el armado de los muros de hormigón no se han modelado; solo se han tenido en cuenta los elementos continuos de las estructuras y perfiles. Los efectos de los elementos puntuales de los anclajes que van desde la carpintería al forjado y generan puentes térmicos pequeños que se disipan en la masa del hormigón son despreciables.

El mallado en el programa tiene limitaciones de tamaño. Por ello se han obviado elementos de una sección menor a 1.5mm o se ha buscado un elemento sustituto de mayor sección para evaluar el puente térmico.

El modelo debe tener una complejidad tal que pueda ser manejado por el programa. Los programas que utilizan elementos finitos necesitan mucha memoria y capacidad de proceso por lo que Therm ha sido pensado para secciones que abarcan solo las carpinterías. Si intentamos modelar con mucha extensión o complejidad el programa nos arrojará un error. En ocasiones hemos tenido que simplificar secciones como el interior de las carpinterías.

6.2.- DISCUSIÓN SOBRE LOS PUENTES TÉRMICOS HALLADOS.

A continuación expondremos para cada sujeto los puentes térmicos hallados mediante el análisis visual de las imágenes de salida del programa, tanto de temperaturas como de flujo térmico.

La salida gráfica del programa con los sujetos analizados podemos encontrarla en el anexo de este trabajo. Nos referiremos a ella para el siguiente análisis.

6.2.1.- Sujeto 1^a

En la lámina correspondiente podemos ver que el mayor puente térmico lo constituyen las piezas de anclaje de la hoja exterior de piedra, aunque al ser puntuales tenemos que decir que el conjunto se ve poco afectado.

El punto del interior del cerramiento que menor temperatura tiene siempre recae en el mismo sitio; en la zona donde el premarco se une con el cerramiento y en el premarco mismo. Al ser un premarco del mismo material que la carpintería y a pesar de tener un sistema de rotura del puente térmico vemos cómo el flujo entre el muro de hormigón y el metal es alto.

Destacar también el puente que forma el sistema de sustentación del trasdosado de cartón yeso. El perfil omega que hemos seccionado muestra un puente con la consiguiente variación de la temperatura interior. Tenemos que recordar que este perfil ha sido sobredimensionado así que habría que minimizar el puente por la baja sección que lo forma.

En la sección vertical inferior podemos ver cómo hay un puente térmico entre la pieza de vierteaguas y la carpintería, a pesar de que entre ellas hay una lámina de cordón sellante. En la sección horizontal se puede ver también.

En general, es una solución muy buena, con una transmitancia de $0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$. Las temperaturas interiores alcanzan las del objetivo hasta casi la carpintería lo que significa que el muro funciona bien térmicamente hasta llegar al aluminio del premarco.

6.2.2.- Sujeto 1b

Esta variante de la solución 1 con la carpintería a haces intermedias muestra los mismos puentes térmicos que la solución a haces interiores. Cabe destacar la relativamente alta conductividad térmica del mortero que une la placa de cartón yeso del trasdosado directo al cerramiento.

6.2.3.- Sujeto 1c

La variante del sujeto 1 con la carpintería a haces exteriores es obviamente la peor solución de las tres.

Como la carpintería vuela sobre el hueco donde se aloja el aislante térmico de la hoja exterior, tiene que estar anclada en un perfil de acero. Este perfil es el mayor problema térmico de este detalle al conectar directamente la carpintería con el exterior mediante un metal de alta conductividad. En parte, la lana de roca cubre este perfil auxiliar por lo que el puente podría ser peor si se decide volar la carpintería sobre el hueco ventilado, solución del todo térmicamente desaconsejable.

El dintel metálico es muy conductor pero su sección es pequeña y constituye un puente despreciable

Por lo demás, la sección tiene un comportamiento similar a sus variantes.

6.2.4.- Sujeto 2

Esta es la tipología similar a la anterior pero con la hoja exterior de madera laminada a alta presión sobre rastreles metálicos. Haces interiores.

La sección vertical superior muestra los perfiles que cubren el hueco del dintel y a la vez forman el premarco donde se ancla la carpintería. Esta pieza es metálica y forma un puente térmico porque traspasa toda la sección del cerramiento con un metal de alta conductividad y que además está en contacto con el núcleo de hormigón. La prolongación de la lana de roca en la hoja exterior para cubrir el canto es un acierto.

La perfilera que sostiene los paneles de madera no presenta problemas térmicos. Es más efectivo instalar un sistema de montantes y correas perpendiculares entre sí porque minimizan el contacto entre ellas el intradós del muro.

Con un tapajuntas de material y espesor adecuado podemos minimizar la diferencia térmica entre el paramento interior y la carpintería en la zona del premarco.

6.2.5.- Sujeto 3

Es una solución constructiva parecida a la anterior pero con el revestimiento de chapa de acero. El sistema de fijación de esta chapa es mediante zetas ajustables.

El espacio entre el muro y el vierteaguas se ha rellenado con espuma de poliuretano, mostrándose eficaz aislando el muro.

La pieza del dintel metálica donde se ancla la carpintería es más reducida que en el sujeto anterior por lo que el puente térmico que crea es más pequeño.

En general la solución es similar a las anteriores a pesar del uso de metal en el paramento. Tendremos que analizar numéricamente más adelante para saber con exactitud la diferencia que supone este cambio en la fachada.

6.2.6.- Sujeto 4

Este sujeto se ha analizado para poderlo comparar una vez cambiado su uso en una rehabilitación energética. No tiene sentido analizar sus puentes porque la transmitancia total de este cerramiento hace que el espacio no sea habitable ($4.15\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

6.2.7.- Sujeto 5

Es la versión anterior mejorada con aislamiento térmico de lana de roca y otra chapa de acero para crear un sándwich in situ.

El mayor puente térmico de esta sección se da en el perfil de acero estructural que sostiene la carpintería. Está demasiado expuesto al exterior y no está cubierto por el aislante térmico que en la parte del dintel presenta un espesor muy reducido.

La unión solidaria de las piezas de acero con la estructura forma un puente muy grande que se sale de la tolerancia. Como hemos fijado la tolerancia del flujo entre 0 y 100W para poder ver los puentes entre el hormigón y el metal, aquí aparecen quemados en blanco porque el flujo llega a uno 2500W.

Esta solución presenta una transmitancia de 0.79W/m²K por lo que no llegaría a cumplir la normativa por su bajo aislamiento térmico en una sola hoja.

En la vista de sección horizontal hemos calculado como si hubiera una cámara ventilada entre el cerramiento y la estructura, para ver cómo actuaría en estas condiciones. La temperatura alcanzada en el interior es similar a la sección vertical sin cámara

6.2.8.- Sujeto 6

Solución de muro prefabricado 40+40+40 con poliestireno expandido en el núcleo.

Aquí el puente térmico es más que evidente. Como el aislamiento térmico del interior del muro no puede subir hasta arriba y hace falta una especie de zuncho armado para cerrarlo, se crea un macizo entre el intradós y el trasdós que forma un puente muy importante. La carpintería además está situada sobre él. Al menos en la sección vertical inferior la pieza del vierteaguas permite crear una zona donde se puede introducir espuma de poliuretano para minimizar el alcance.

Este sujeto parece ser un buen candidato para el doblado de la hoja o el trasdosado.

6.2.9.- Sujeto 7

Estamos ante el detalle de una claraboya en cubierta. Podemos ver cómo el puente térmico más grande se encuentra en la carpintería de la claraboya, que es de metal. Al sobresalir de la capa de aislamiento térmico y estar anclada directamente sobre el hormigón del forjado crea un puente.

Llama la atención cómo la capa de aislamiento térmico de poliestireno extruido es capaz de interrumpir de manera tajante el flujo entre la capa que se encuentra en el exterior y las interiores.

El intradós del forjado muestra un pequeño incremento del flujo térmico en la chapa plegada pero es despreciable.

A pesar de que hemos modelado la cúpula transparente con metacrilato doble con cámara, vemos cómo el flujo es en ella de unos 90W, bastante elevado. La transmitancia de este elemento es de unos 0.7 W/m²K

La temperatura del interior, en la superficie de la carpintería, es bastante baja en invierno lo que podría producir condensaciones según el nivel de humedad relativa presente.

6.2.10.- Sujeto 8

Muro cortina semimodular.

Se aprecia el puente formado por los anclajes. El puente, al ser puntual, puede ser despreciado pero el verdadero problema de esta solución constructiva es la alta transmitancia, con 2.3 W/m²K, siendo aconsejable utilizar una segunda hoja o sistemas complejos de control de la radiación solar.

6.2.11.- Sujeto 9

Muro cortina semimodular con cámara para mantenimiento y carpintería de suelo a techo al intradós.

Esta solución consigue mejorar la transmitancia a 0.72W/m²K, a costa de incrementar el espesor.

El mayor puente térmico se da en la unión de la carpintería interior con el forjado, ya que se ha provisto de un perfil de acero del tipo L donde se ancla también la hoja exterior (muro cortina). A pesar de todo ello podemos ver que la temperatura interior es bastante uniforme, sin los picos de temperatura que daba la ventana de aluminio, gracias a que la hoja interior está muy alejada y desconectada de la exterior y a la cámara de aire que se forma entre ellas.

7.- PROPUESTAS PARA LOS PUENTES TÉRMICOS ENCONTRADOS.

7.1.- CRITERIO PARA LAS PROPUESTAS

Para intentar poner una solución total o parcial a los puentes térmicos antes encontrados hemos intentado que las soluciones sean lo más económicamente viable posibles. Esto quiere decir que para actuar en un puente térmico hemos intentado primero aislar térmicamente el elemento o reforzar su aislamiento de una forma auxiliar. Si no conseguimos el efecto deseado, entonces añadiremos una nueva hoja al cerramiento.

Esto último, añadir una hoja con aislamiento térmico, re ha revelado como el procedimiento que más varía la transmitancia de la solución. Como es económicamente el más caro y además, de realizarse en el interior del cerramiento, resta espacio útil a la estancia.

7.2.- SIMULACIÓN Y RESULTADOS DE LAS PROPUESTAS. ANÁLISIS COMPARATIVO.

Llegados a este punto, relataremos de cada sujeto las modificaciones que hemos planteado y los resultados a los que hemos llegado tras las simulaciones térmicas. Remitimos a las láminas de resultados y comparación que hemos elaborado y se encuentran en el anexo de este documento.

En este momento podremos también valorar numéricamente el proceso de rehabilitación energética que hemos llevado a cabo.

Solución 0: Haces interiores vs medias vs exteriores

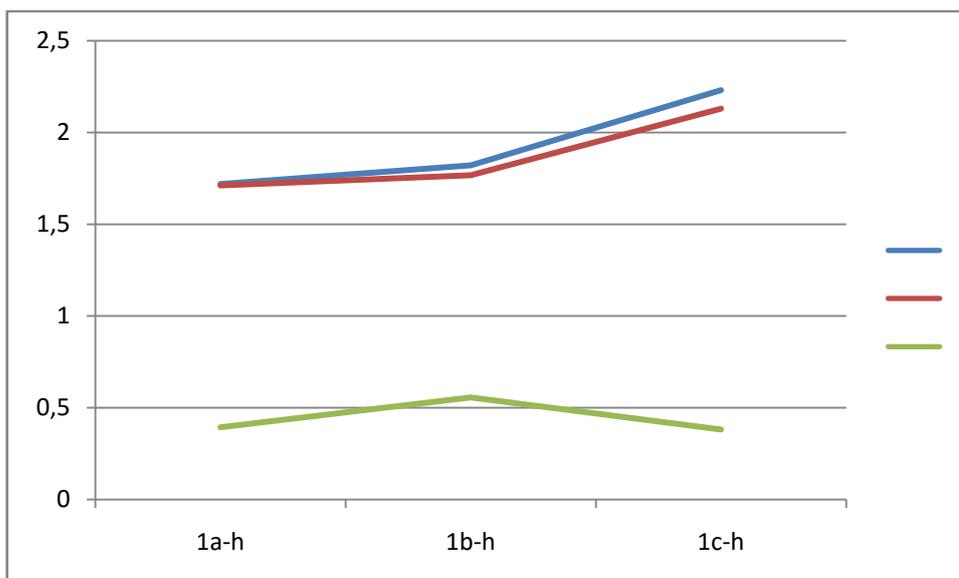
En realidad esta comparación no es una solución a los puentes térmicos, es solo un experimento para conocer qué situación es mejor para la carpintería dentro de un cerramiento.

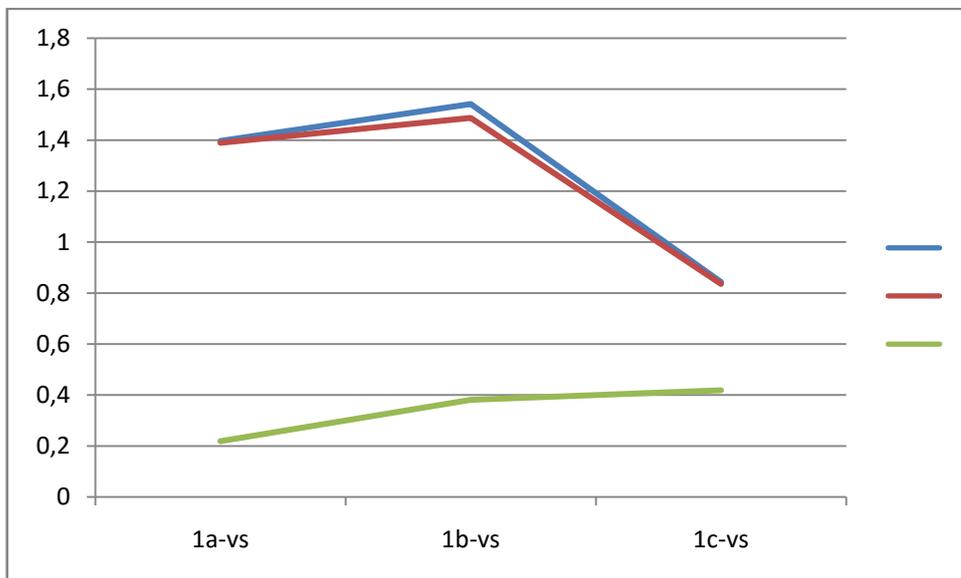
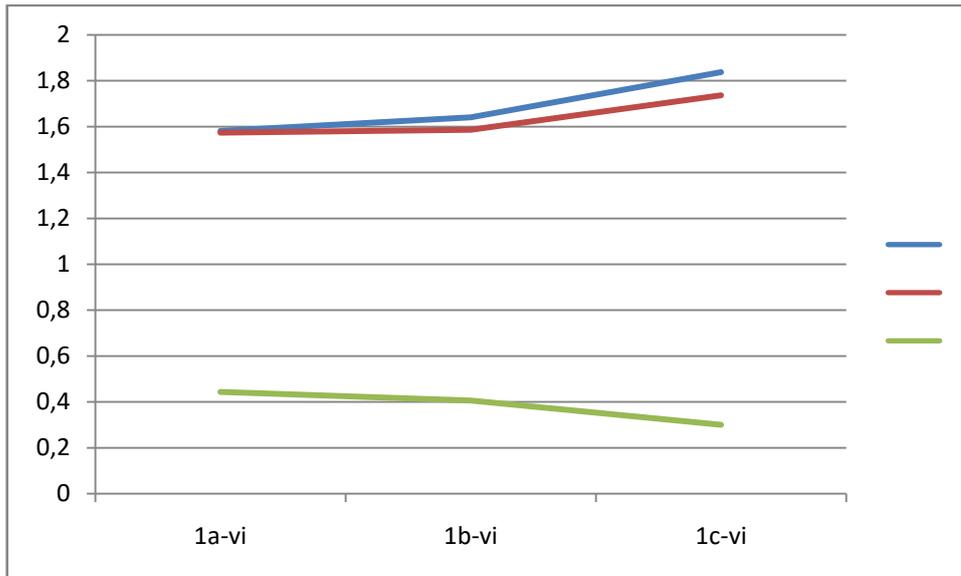
Como hemos visto en el análisis de los sujetos, al mover la ventana dentro del cerramiento obtenemos distintos puentes térmicos. Además la transmitancia del cerramiento es la misma porque la solución constructiva no varía. Por este motivo hemos querido analizar numéricamente estos tres casos, de forma comparativa.

	Valores sujeto		
	L2D (W/m²K)	ψ (W/m²K)	fRSI
1a-h	1,719037607	1,711190663	0,39375
1a-vi	1,581277663	1,573430719	0,44375
1a-vs	1,397302387	1,389455443	0,21875
1b-h	1,821166183	1,766537093	0,55625
1b-vi	1,640289489	1,585660399	0,40625
1b-vs	1,541774542	1,487145451	0,38125
1c-h	2,230398922	2,129423757	0,38125
1c-vi	1,837702569	1,736548798	0,3
1c-vs	0,843325471	0,835478527	0,41875

En la tabla anterior podemos ver los valores para cada una de las vistas. Comprobamos como de manera general empeoran excepto la sección vertical superior, donde los valores mejoran un poco.

Si vemos estos datos de manera gráfica:





Debemos recordar que tanto el L2D como la transmitancia térmica lineal (ψ) son mejores cuanto menor es su valor. Con el factor de temperatura superficial es al contrario.

Apreciamos cómo los parámetros que hemos establecido empeoran en todas las vistas excepto en la sección vertical superior. Creemos que estos resultados son la consecuencia de eliminar la pieza que cubre el dintel en el exterior, que no presenta ningún aislante térmico, y sustituirla por un trasdosado en el interior a medida que la ventana se desplaza hacia haces exteriores. Esto nos indica que también se debe poner la capa de aislamiento térmico en la pieza exterior del dintel para evitar este efecto.

Solución 1: Sustitución del tipo de vierteaguas.

Comparamos la sección 1^a-vi que tiene un vierteaguas con las mismas características que la hoja exterior de la fachada ventilada con uno metálico de aluminio con alma en forma de panal de abeja de polietileno.

El vierteaguas de Al-PE-Al es mucho más fino y no requiere de los anclajes de su versión en piedra, lo que hace que no sea necesario realzar mediante un premarco muy grande la carpintería sobre el muro. Como el espacio entre el muro y el vierteaguas también será menor podremos insertar una capa de aislamiento térmico también menor en la versión de metal, que será en forma de inyección de espuma de poliuretano.

A la vista de los resultados de las simulaciones hay una mejora por la disminución de los puentes térmicos entre el exterior y el premarco, al ser este más reducido.

Numéricamente también hay una mejora, disminuyendo el L2D un 33% y el ψ un 29%. El factor de temperatura superficial empeora un 15%. Esto se debe a la unión entre la carpintería y la lámina metálica que reduce el punto de menor temperatura interior, aunque un incremento del 15% se mueve dentro del rango de error de la medición de temperatura.

Solución 2: Inyección de PUR en premarco

Comparación entre 1a-vi y la misma vista pero con el perfil del premarco relleno de espuma PUR.

Como hemos visto en el caso anterior un puente térmico muy común es el premarco de la carpintería metálica. Comprobaremos qué pasa al rellenarlo de espuma de poliuretano.

Después de visualizar las imágenes del flujo térmico y de temperaturas no parece haber cambios significativos. La diferencia de conductividad térmica entre el aislante y la cámara no ventilada debería notarse, no ya en el puente térmico, sino en los valores globales.

Vemos ahora que los valores numéricos no han variado significativamente.

Podemos decir, pues, que la inyección de PUR en este caso particular no ha surtido efecto; la semejanza entre las conductividades de la espuma de PUR y de la cámara no ventilada a esta escala y la no rotura del puente del perfil hace que haya sido inútil esta actuación.

Solución 3: Trasdoso de la repisa

Vamos a comprobar qué le sucede a la repisa que queda en el interior del sujeto 1, en su vista vertical inferior. (1b-vi).

Como hemos visto en la primera comparación, a medida que vamos desplazando la carpintería hacia el exterior se genera un espacio en la repisa interior que debe ser cubierto. Vamos a comparar la diferencia entre cubrirlo mediante placas de cartón yeso de forma directa, a través de mortero, o trasdosarlo con aislamiento de lana de roca en su interior.

En el análisis gráfico podemos ver cómo el flujo se interrumpe en la versión de lana de roca, mejorando la temperatura interior. También interrumpe el puente entre la placa de pladur y la carpintería.

Mediante el análisis numérico podemos constatar que no hay grandes diferencias entre la versión modificada y la original para los parámetros generales, estando la mejora en torno al 2%. La diferencia del factor superficial de temperatura es despreciable, permaneciendo la mínima temperatura interior en valores similares.

Solución 4: Relleno dintel de PUR.

Vamos a actuar sobre el sujeto 2, en su vista vertical superior que muestra el dintel y su unión a la carpintería, inyectando espuma de poliuretano.

Viendo los valores gráficos y numéricos y teniendo ya la experiencia anterior, podemos decir definitivamente que la inyección en el interior de los perfiles no funciona.

Solución 5: Cambio del tipo de tapajuntas.

Sujeto analizado: 3-vi

Comprobemos ahora si el tipo de tapajuntas puede afectar a la temperatura interior o crear algún puente térmico.

Hemos diferenciado entre un tapajuntas oculto o realizado mediante la propia placa de trasdosado y otro de madera de pino.

Gráficamente se aprecia un decremento del flujo en la pieza y un aumento de la temperatura superficial por lo que de momento vamos por buen camino. Numéricamente la mejora se cuantifica con un 1%. Si tenemos en cuenta la pequeña sección del material este porcentaje global no es bajo. El Frsi es despreciable. El punto de menor temperatura interior no mejora, al estar alejado de la zona de actuación.

Soluciones 6 y 7: Chapa simple a sándwich y trasdosado

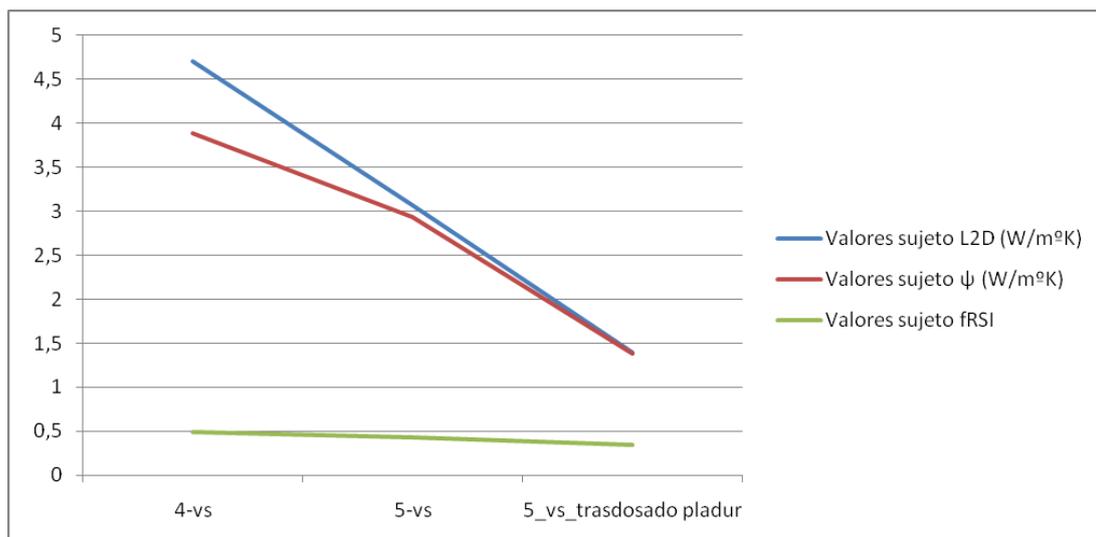
Partiremos de un cerramiento de tipo industrial de una sola chapa metálica, la transformaremos en una chapa tipo sándwich con relleno de lana de roca y por último la trasdosaremos con placas de cartón yeso y lana de roza, dejando una cámara no ventilada entre las dos hojas.

Comenzaremos analizando en cambio que se produce al transformar la placa simple en sándwich. Podemos ver gráficamente que la mejor es grande, con un incremento de la temperatura superficial interior tanto en la carpintería como en el paramento. El perfil cuadrado que sustenta la carpintería sigue siendo un puente térmico pero ahora está cubierto en parte por el aislante térmico y la mejora es perceptible. Numéricamente ha y una mejora del 35% en el U2D y del 25% en el ψ

Es al trasdosar cuando vemos mayor diferencia. Ahora si que se alcanzan los valores de confort interior de temperatura y el flujo térmico en las piezas muestra solo el contacto entre el pladur y el perfil de la carpintería. Numéricamente tenemos una mejora del 55% en L2D y del 53% en ψ .

En resumen, tenemos los siguientes valores:

	Valores sujeto		
	L2D (W/m ² K)	ψ (W/m ² K)	fRSI
4-vs	4,708682815	3,891732051	0,49375
5-vs	3,074571135	2,936414158	0,4375
5_vs_trasdosado pladur	1,395950969	1,385778816	0,35



Donde apreciamos que la mejora es evidente.

Solución 8: Trasdoso de muro.

Vamos a actuar ahora sobre el sujeto nº6, que consiste en un cerramiento de muro de hormigón prefabricado con aislante térmico de poliestireno expandido en su núcleo.

Trasdosaremos con placas de cartón yeso a aislante térmico de lana de roca para intentar que el puente térmico del zuncho macizo del muro no afecte al interior de la edificación.

Podemos ver en el resultado gráfico que hemos conseguido que la temperatura interior se adapte a los requerimientos mucho mejor y el flujo térmico muestra que el puente ha sido cortado por el aislante térmico. Además, el flujo interno del muro original ha disminuido como consecuencia de la disminución de las diferencias de temperatura entre capas.

Numéricamente vemos una mejora del 17 y 18% respectivamente de los valores L2D y ψ .

Solución 9 y 10: Claraboya

Vamos a analizar ahora la solución que hemos adoptado para evitar el puente térmico encontrado en la claraboya.

Hemos simulado dos opciones: Primero hemos creado un espacio no ventilado entre la cúpula de la claraboya y el espacio habitable, poniendo una plancha de policarbonato de manera pueda pasar la luz pero se forme una cámara interior que mejore las características térmicas.

El análisis gráfico muestra un decremento en el puente que forma la carpintería con el forjado. Térmicamente, la capa de aire no ventilada crea un colchón donde las temperaturas se amortiguan.

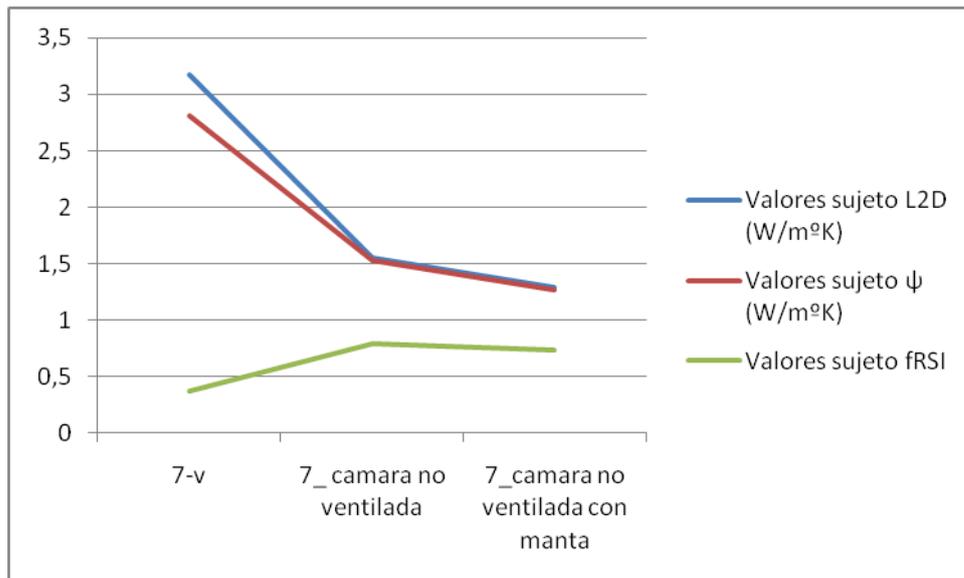
Numéricamente hay una mejora del 51% y del 46% en los valores L2D y ψ lo que corrobora la eficacia de esta medida tan simple.

Una vez hemos comprobado esta modificación, vamos a intentar eliminar el puente térmico que forma la carpintería metálica de la claraboya con el forjado y el interior, prolongando la capa de aislamiento térmico de la cubierta.

Gráficamente vemos también cómo la manta térmica que cubre la pieza metálica hace su efecto, disminuyendo el flujo interno. Numéricamente vemos una mejora de un 8% en ambos parámetros térmicos.

En resumen:

	Valores sujeto		
	L2D (W/m²K)	ψ (W/m²K)	fRSI
7-v	3,170242055	2,815897482	0,375
7_camara no ventilada	1,549707652	1,524458274	0,7875
7_camara no ventilada con manta	1,289231015	1,263981636	0,73125



Solución 11: Forrado del canto del forjado.

En el sujeto del muro cortina, hemos colocado una capa de aislante térmico en forma de lana de roca y protegido mediante una tapeta metálica.

Esta solución ha incrementado el aislamiento térmico de la estructura, elevando su temperatura en invierno e interrumpiendo el flujo directo entre la cámara ventilada que se forma entre la hoja del muro cortina y el interior. No obstante, los anclajes del muro siguen siendo los mismos y sus puentes también. De todas formas, recordemos que estos anclajes son puntuales y su incidencia en el conjunto del muro es muy baja.

Numéricamente el cálculo ha sido muy desigual, debido a que no hemos podido establecer unas condiciones de contorno interiores y exteriores como en los sujetos anteriores. El exterior está bien definido pero en las secciones estudiadas la capa que conforma el interior ha tenido que ser definida en la superficie del forjado, en un eje perpendicular al exterior. Esto hace que los datos numéricos no sirvan y no se puedan tener en cuenta.

Solución 12: Protección canto forjado muro doble.

Estamos ante el muro cortina y el muro de fachada de vidrio interior. Hemos forrado, como en la solución anterior, el canto del forjado, en este caso inyectando PUR en el perfil preexistente.

Por las mismas razones que en los anteriores sujetos donde procedimos a inyectar en perfiles espuma de poliuretano, esta solución no mejora el comportamiento térmico del conjunto y tampoco los puentes térmicos entre el forjado y la carpintería.

8. CONCLUSIONES.

El programa LBNL Therm ha servido a nuestro propósito. A pesar de sus rigideces y limitaciones, es un programa de manejo relativamente sencillo que nos permite calcular gráfica y numéricamente el encuentro entre varios elementos en varias dimensiones. Después de un breve periodo de adaptación y aprendizaje el operario es capaz de generar imágenes y datos de una forma sencilla, sin tener que programar en él las ecuaciones térmicas, ni tener que esperar horas para obtener resultados.

Las variables numéricas que hemos calculado a partir de la salida numérica Therm han sido útiles para el análisis. Tanto la transmitancia térmica total en 2D como la transmitancia térmica lineal se han revelado clave en este trabajo para comparar el alcance de rendimiento obtenido con los cambios que hemos propuesto, mostrándose proporcionales a la mejora térmica. El factor de temperatura superficial debe interpretarse con cuidado porque los errores de tolerancia al medir las temperaturas interiores son relativamente altos.

Respecto a los puentes térmicos que hemos encontrado, podemos decir que la solución de doble hoja ha sido siempre mejor que la de una sola, aún cuando ésta estuviera preparada con aislamiento térmico interior. Así, las soluciones industrializadas necesitarían de otra hoja para completar el cerramiento y alcanzar temperaturas de confort en el interior y eficiencia energética.

Los puentes térmicos de los anclajes puntuales pueden ser despreciables. Al estar anclados a un elemento masivo su flujo se disipa en el interior de este. Para los sistemas anclados por una estructura auxiliar de rastreles y montantes sucede algo parecido.

No existe diferencia significativa entre los distintos materiales de revestimientos verticales exteriores en los muros ventilados. Gracias a la existencia de una capa de aislante térmico en la hoja exterior las diferencias que pudieran haber por las distintas conductividades térmicas se amortiguan en esta capa.

Los muros cortina no poseen suficiente transmitancia para formar por ellos mismos un cerramiento eficaz térmicamente. Para analizar los puentes entre las distintas piezas que lo conforman sería necesario un programa que pudiera trabajar en las tres dimensiones, dado su sistema de disposición de piezas en retícula. Por eso los resultados que hemos hallado han sido desiguales y poco concluyentes.

La posición más favorable térmicamente de la carpintería es a haces interiores.

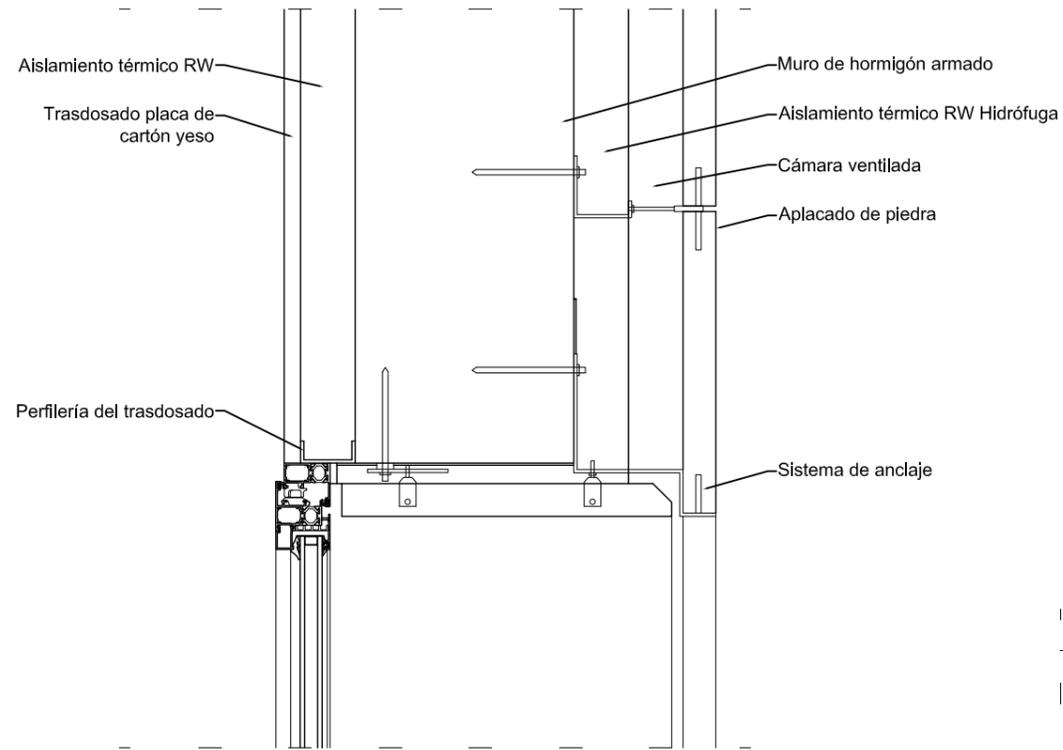
Respecto a las soluciones que hemos dado a los puentes térmicos, tenemos que decir que el relleno de los perfiles de la carpintería o del premarco con espuma de poliuretano no es eficaz.

La solución más eficaz ha sido el trasdosado con otra hoja por el interior. A pesar de la pérdida de espacio que conlleva aumenta la transmitancia del cerramiento y reduce la incidencia de los posibles puentes que tuviera la hoja original.

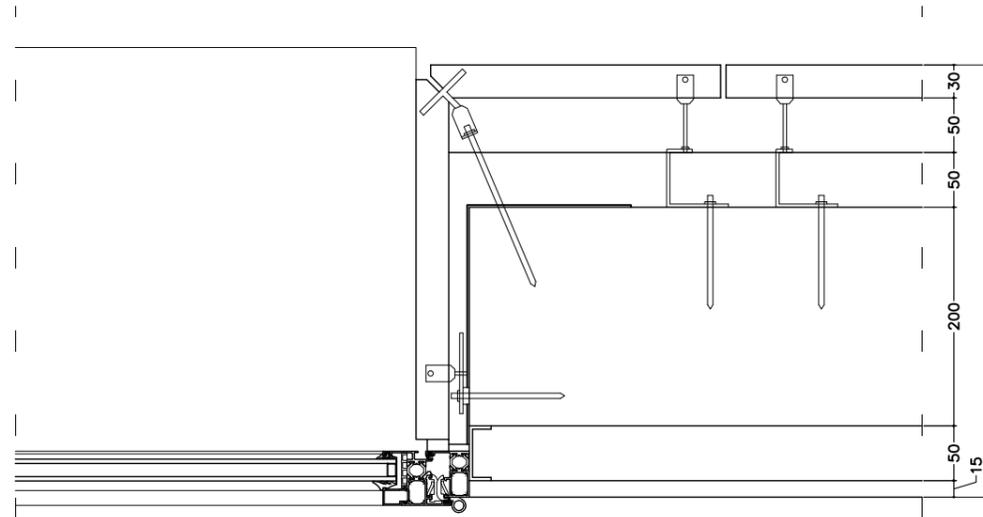
9.- ANEXOS.

9.1.- LÁMINAS DE LOS SUJETOS ANALIZADOS.

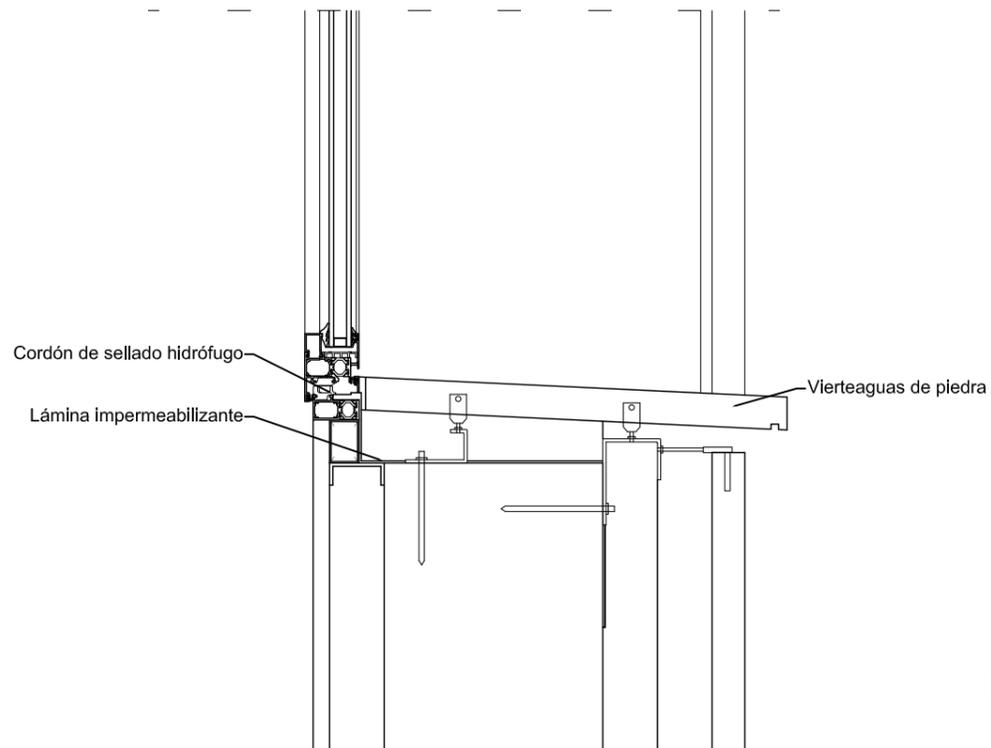
1a.- Muro hormigón | placas de piedra



Sección 1a-vs



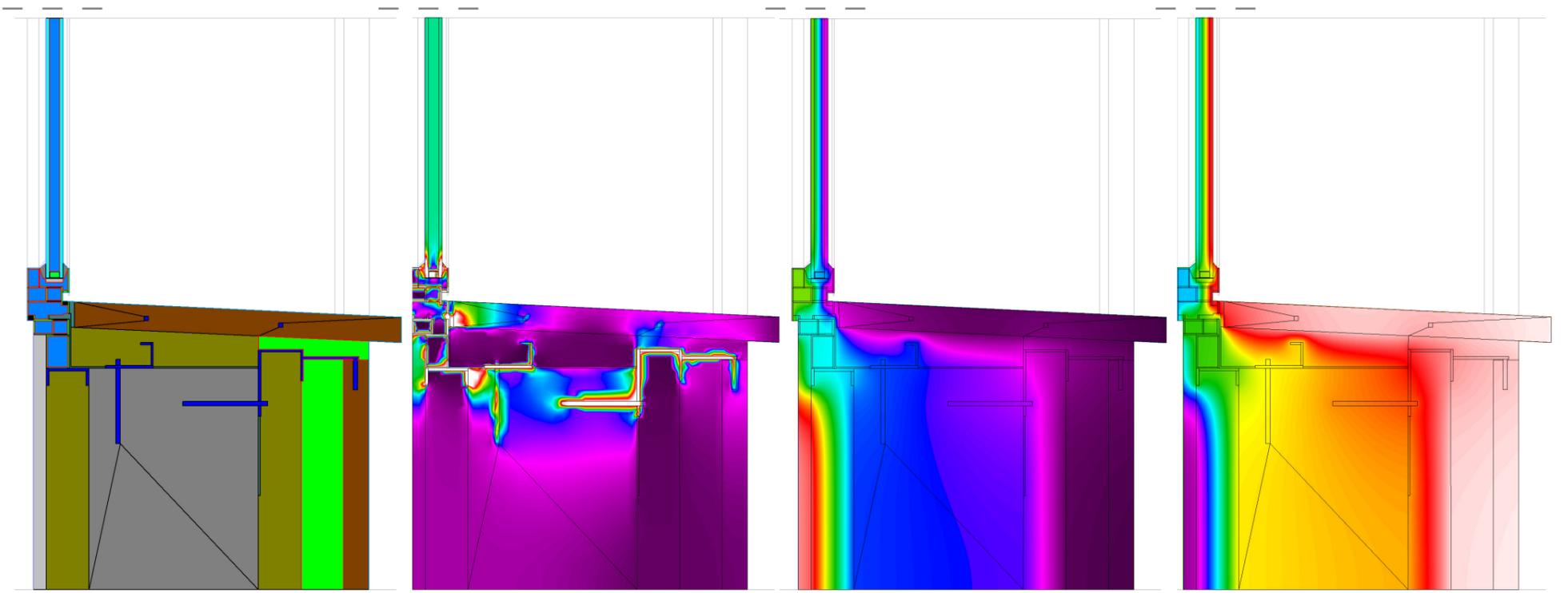
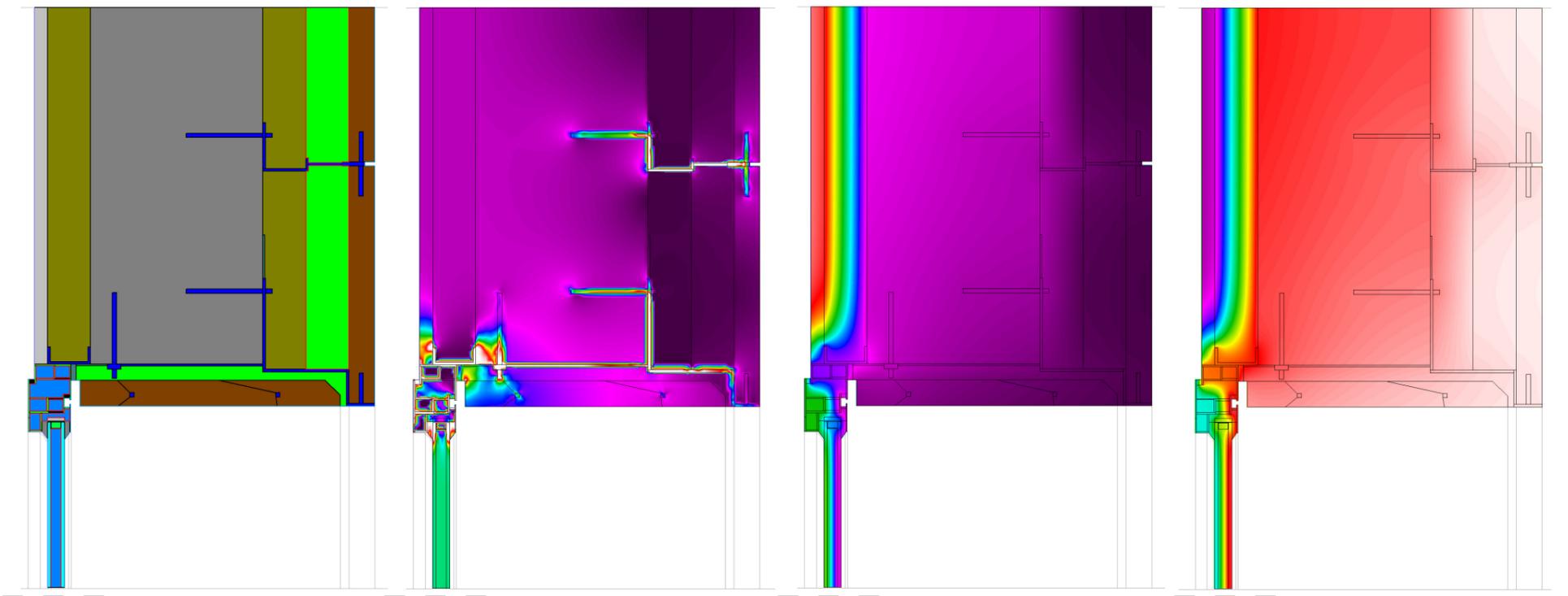
Sección 1a-h



Sección 1a-vi

Cerramiento de muro de hormigón armado trasdosado con placas de cartón yeso y aislamiento térmico de lana de roca en el interior, transventilado mediante placas de piedra con cámara ventilada y aislamiento de lana de roca impermeable.

Carpintería batiente de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara. Haces interiores. Solución con anclajes puntuales y pieza del dintel de piedra.

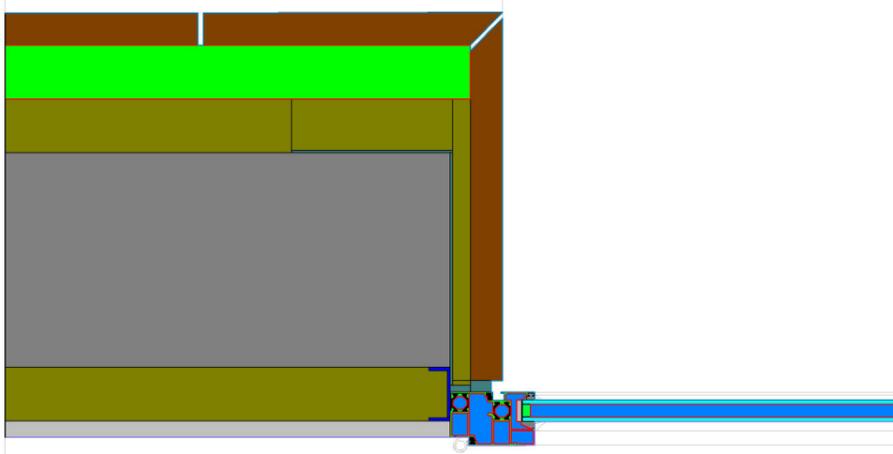


Materials y Mallado

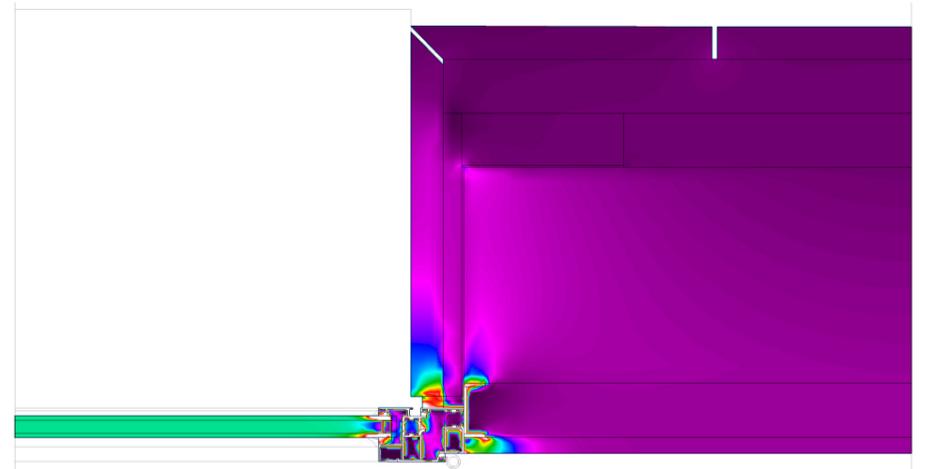
Flujo térmico

Temperatura Invierno

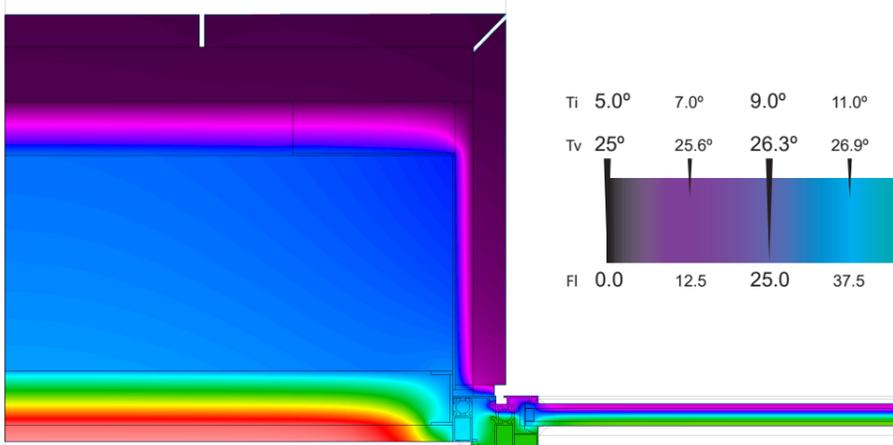
Temperatura Verano



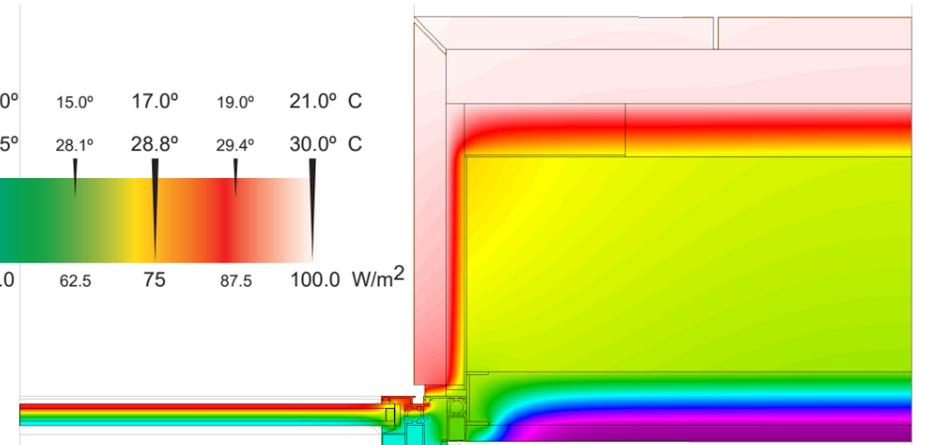
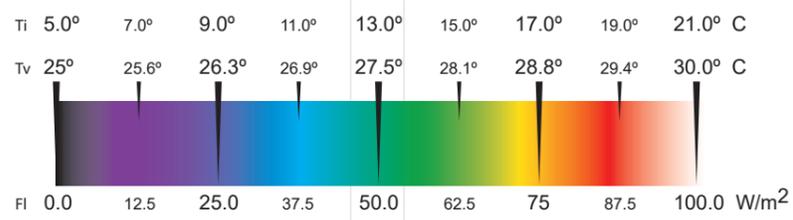
Materials y Mallado



Flujo térmico

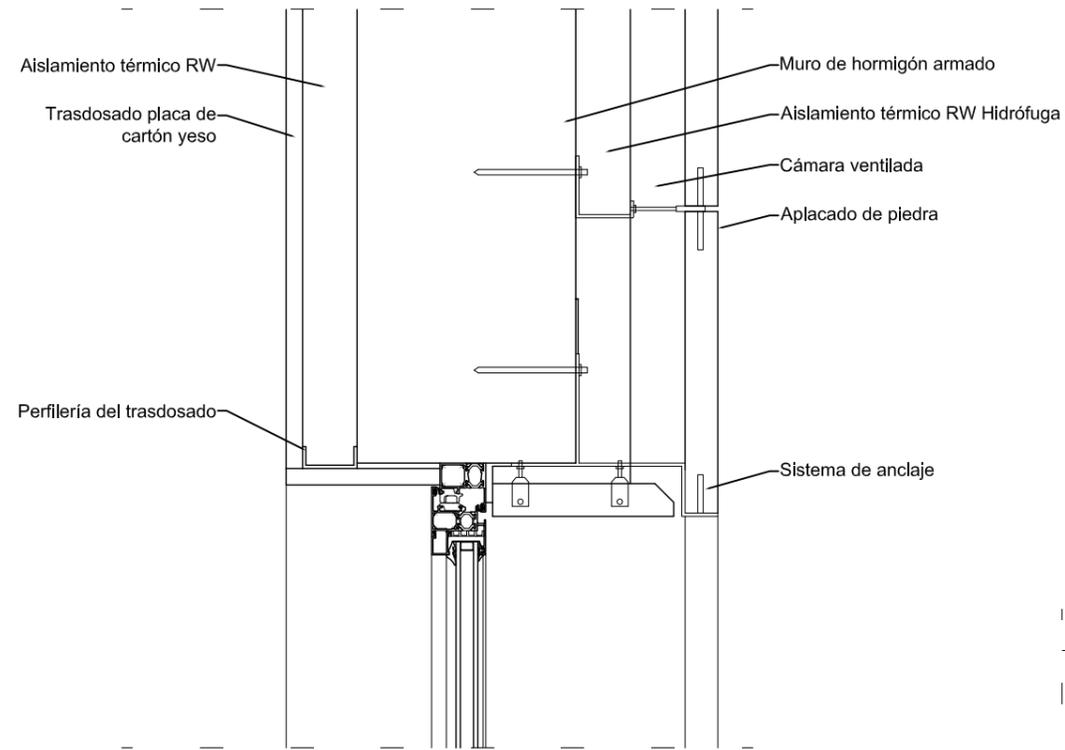


Temperatura Invierno

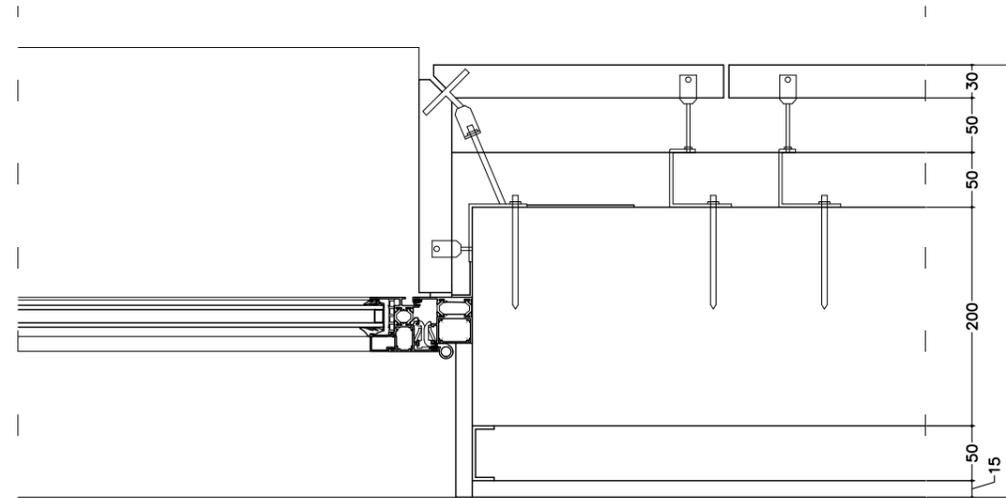


Temperatura Verano

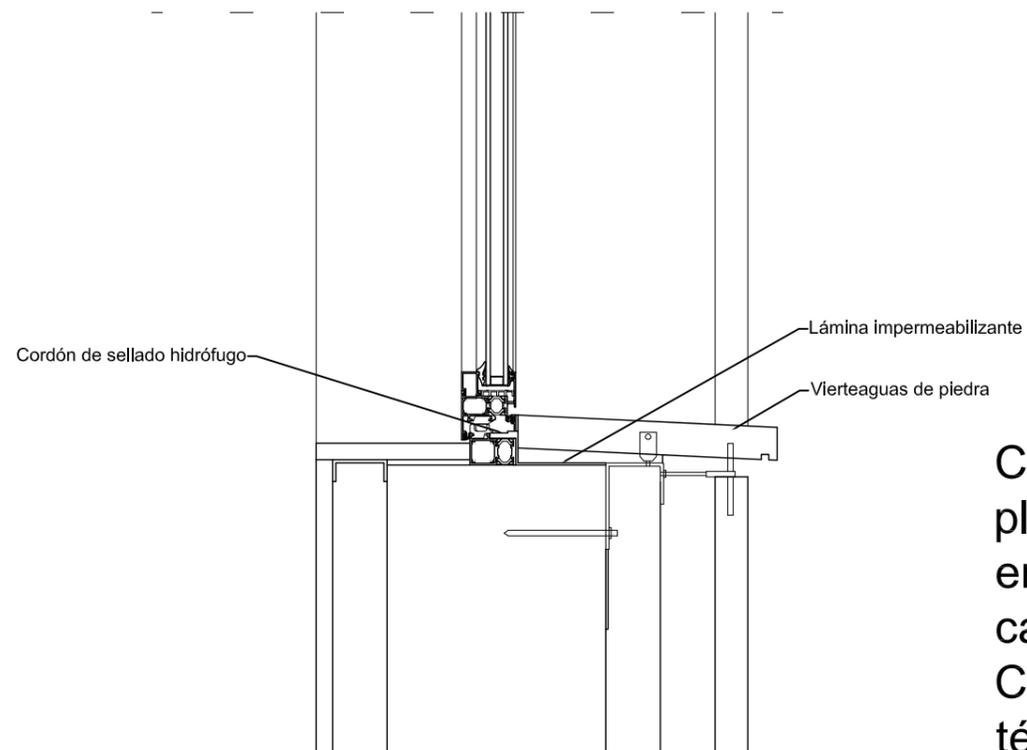
1b.- Muro hormigón | placas de piedra - haces intermedios



Sección 1b-vs

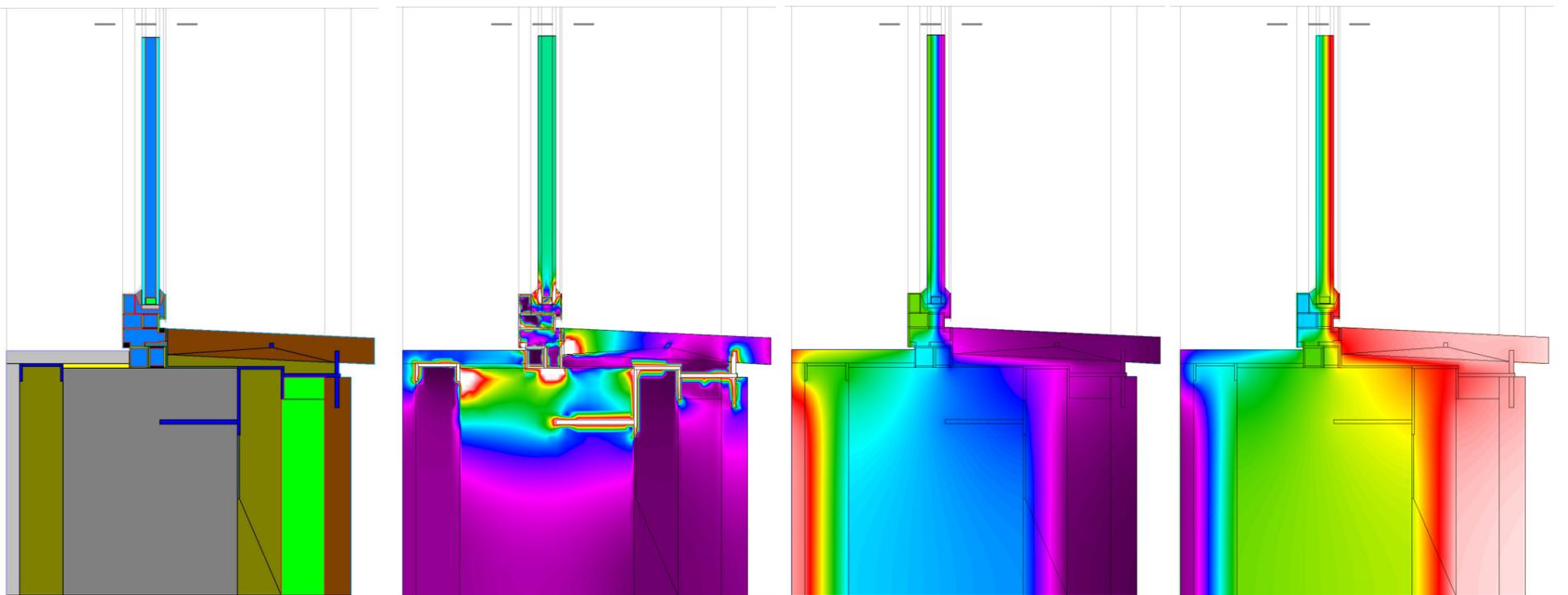
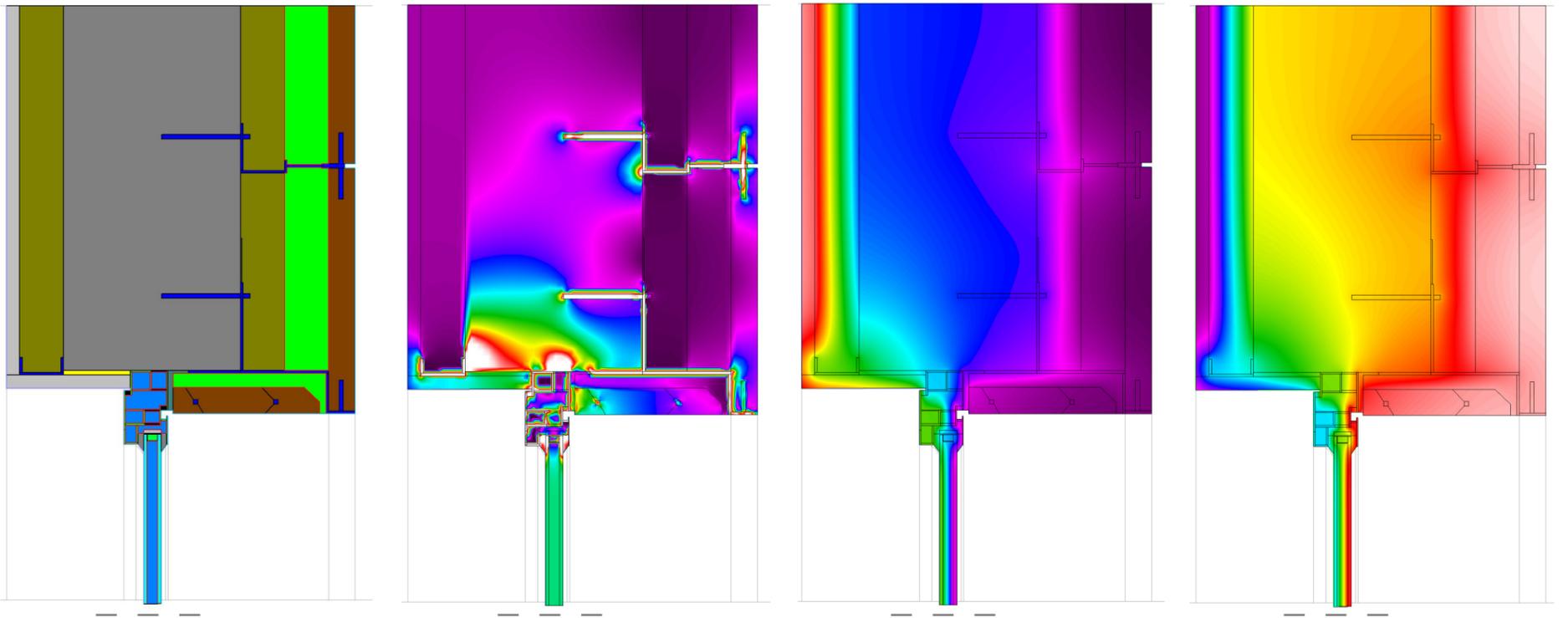


Sección 1b-h



Sección 1b-vi

Cerramiento de muro de hormigón armado trasdosado con placas de cartón yeso y aislamiento térmico de lana de roca en el interior, transventilado mediante placas de piedra con cámara ventilada y aislamiento de lana de roca impermeable. Carpintería batiente de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara. Solución con anclajes puntuales y pieza del dintel de piedra. Haces intermedias.

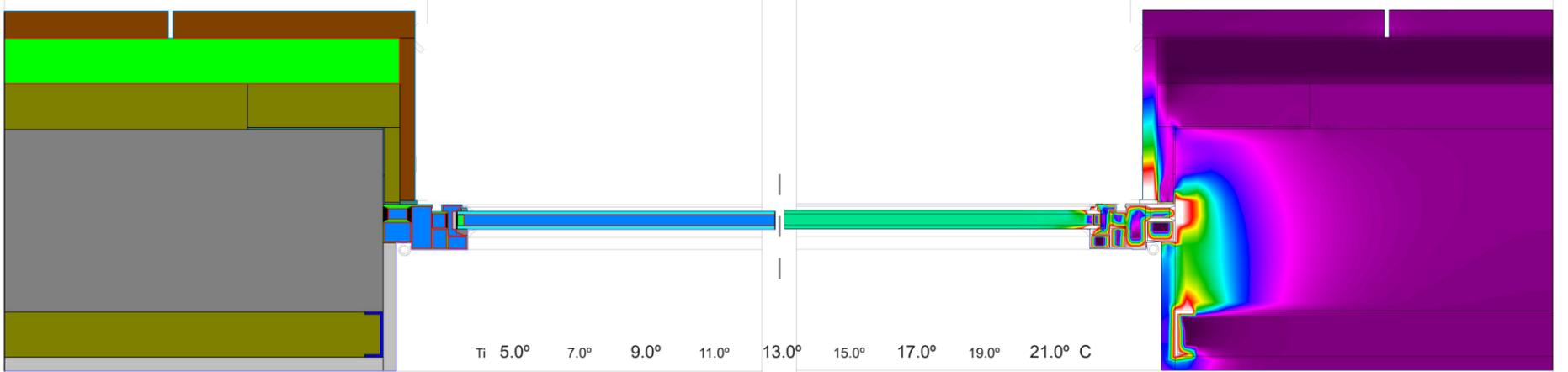


Materiales y Mallado

Flujo térmico

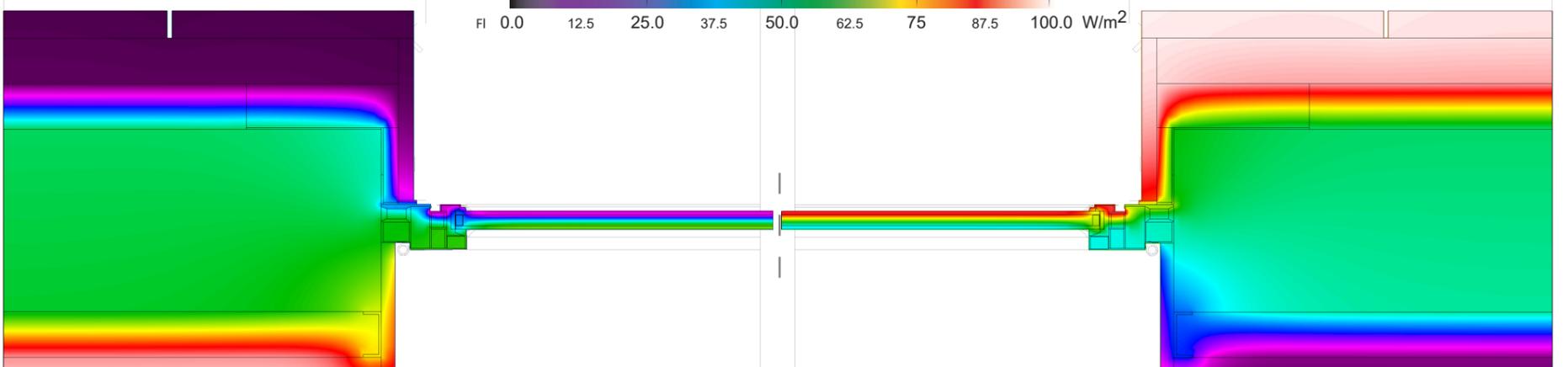
Temperatura Invierno

Temperatura Verano



Materiales y Mallado

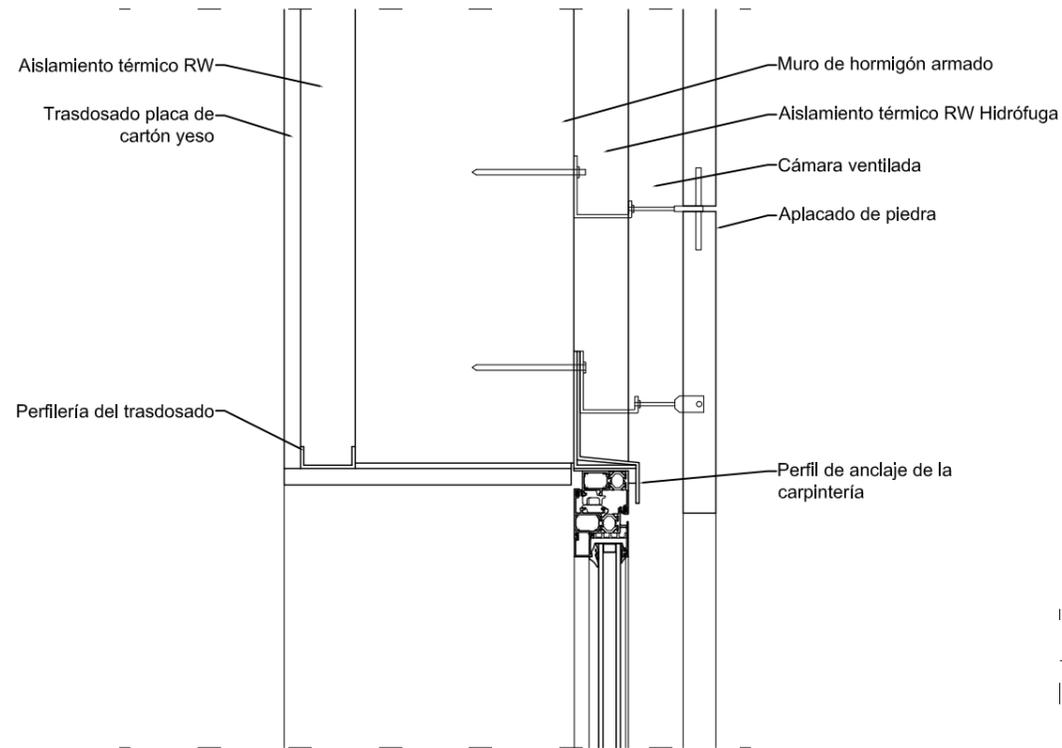
Flujo térmico



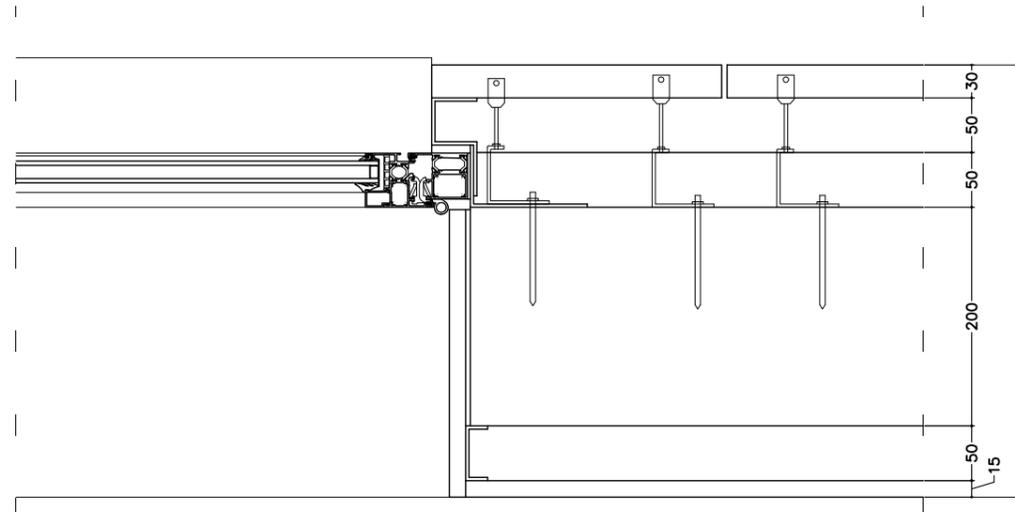
Temperatura Invierno

Temperatura Verano

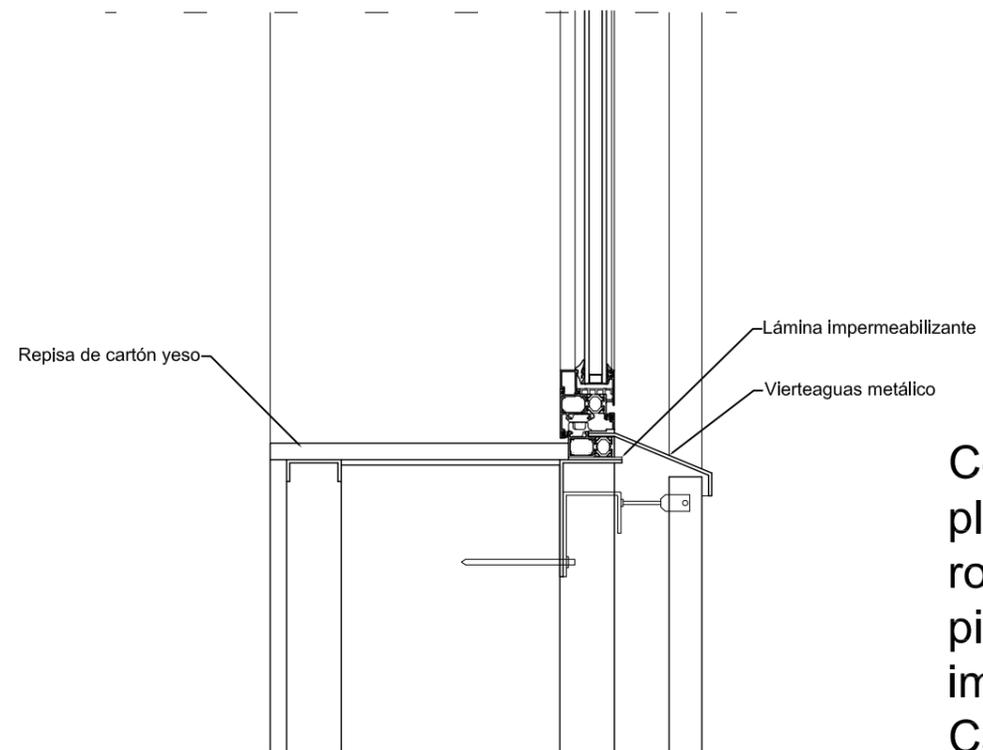
1c.- Muro hormigón | placas de piedra - haces exteriores



Sección 1c-vs



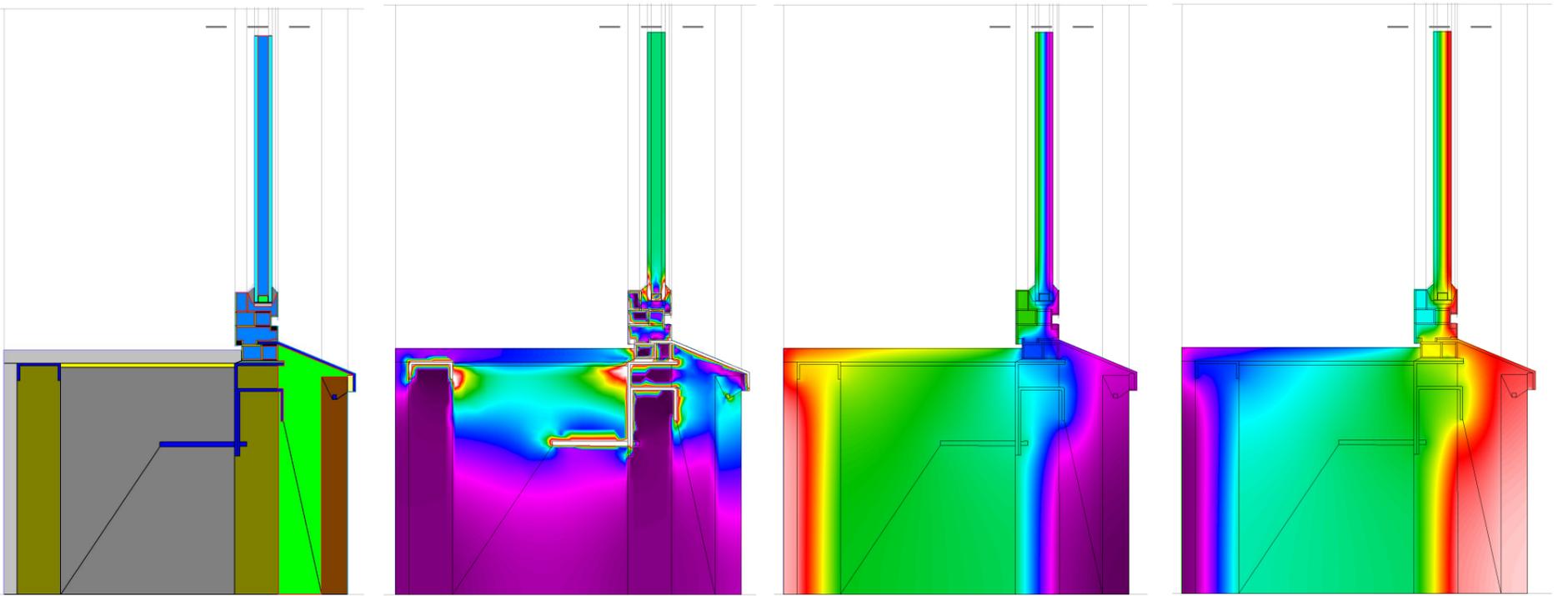
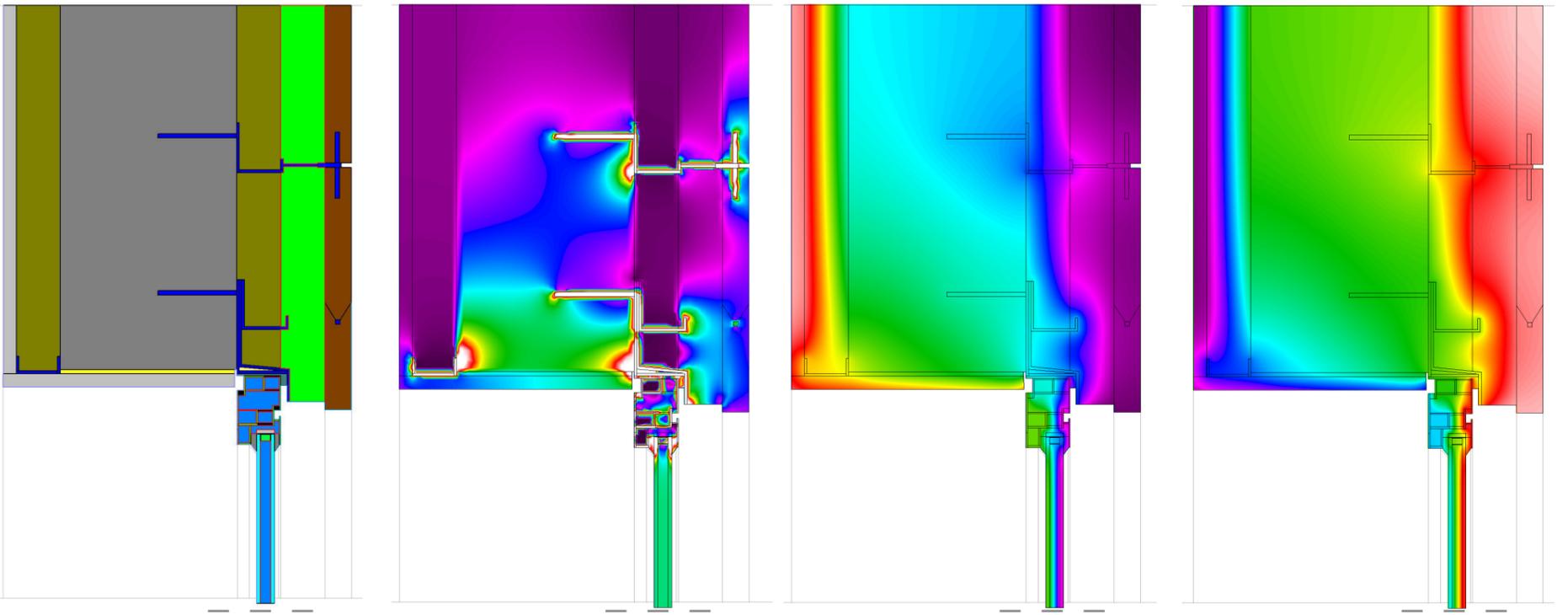
Sección 1c-h



Sección 1c-vi

Cerramiento de muro de hormigón armado trasdosado con placas de cartón yeso y aislamiento térmico de lana de roca en el interior, transventilado mediante placas de piedra con cámara ventilada y aislamiento de lana de roca impermeable.

Carpintería batiente de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara. Solución con anclajes puntuales. Haces exteriores.

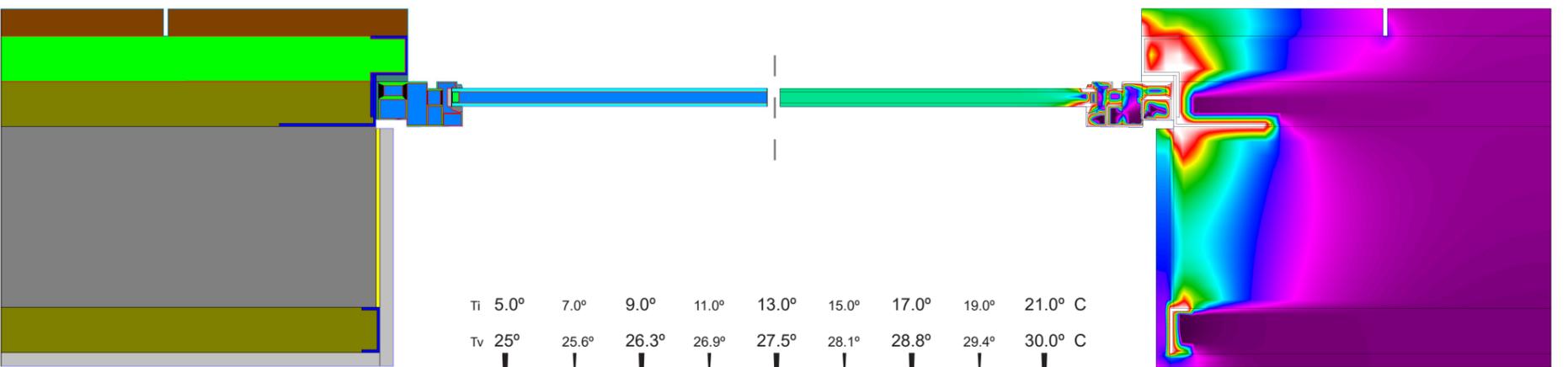


Materiales y Mallado

Flujo térmico

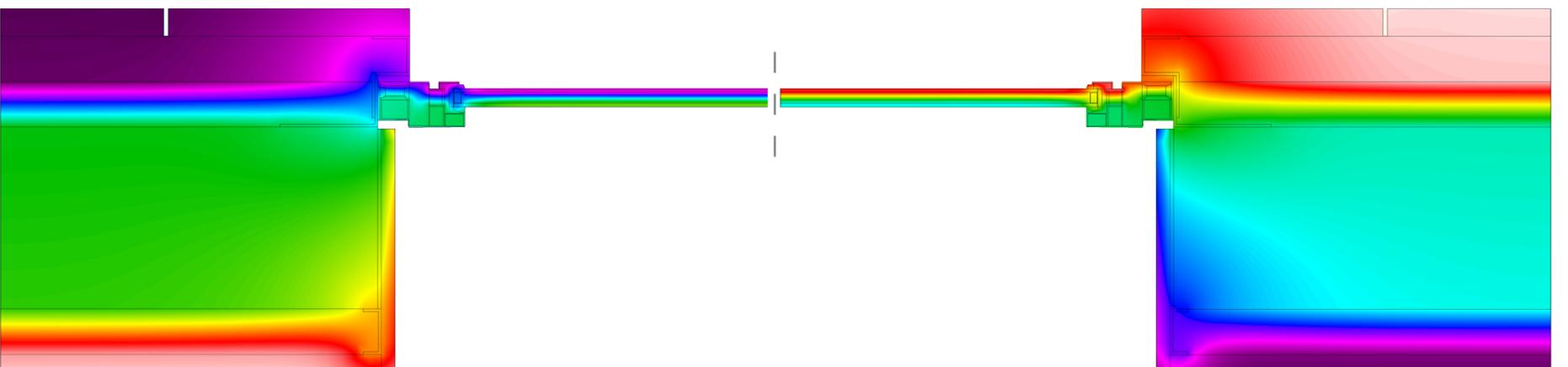
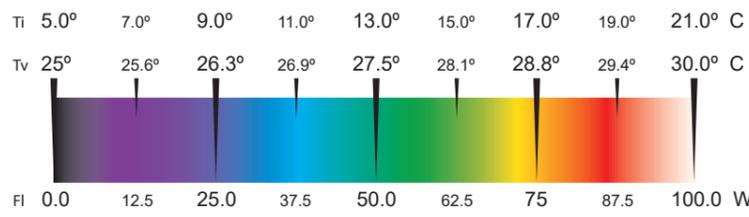
Temperatura Invierno

Temperatura Verano



Materiales y Mallado

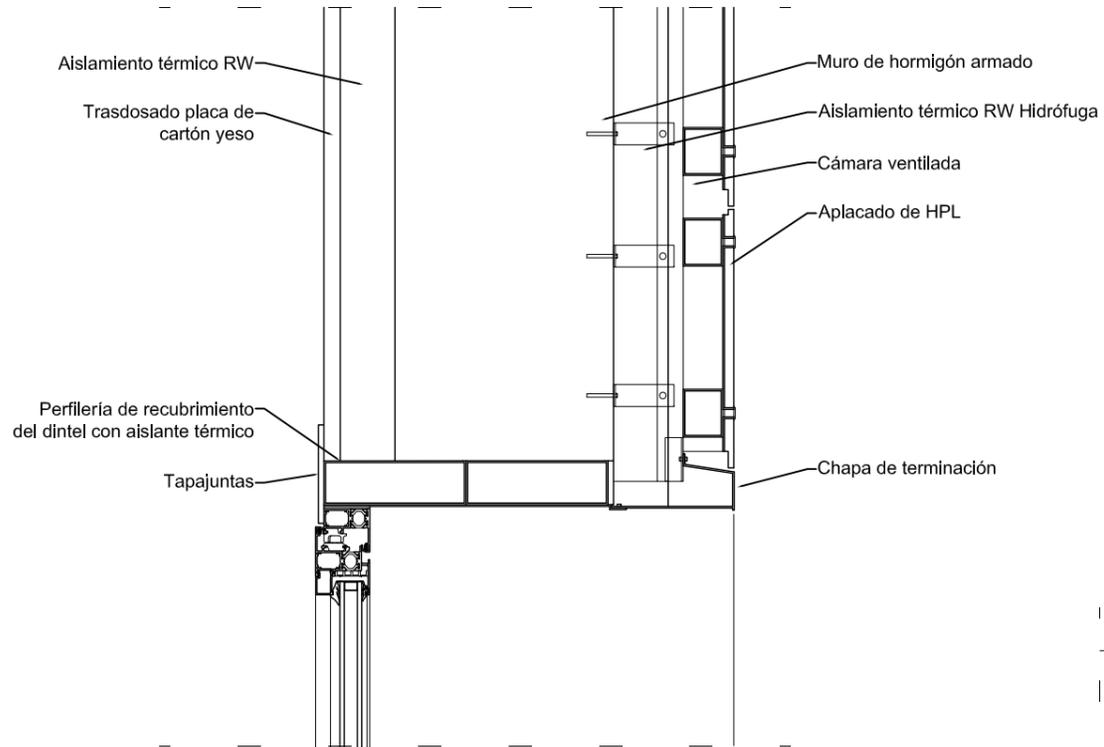
Flujo térmico



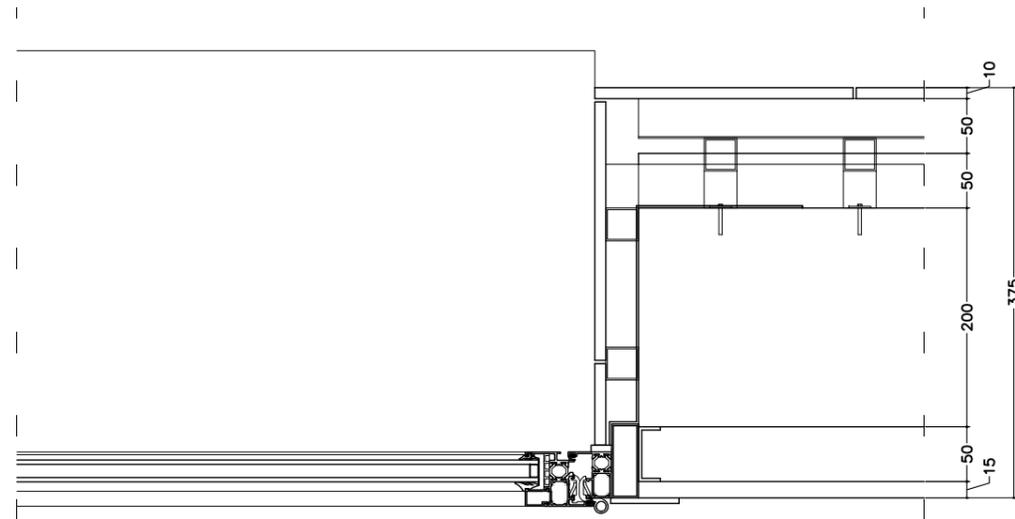
Temperatura Invierno

Temperatura Verano

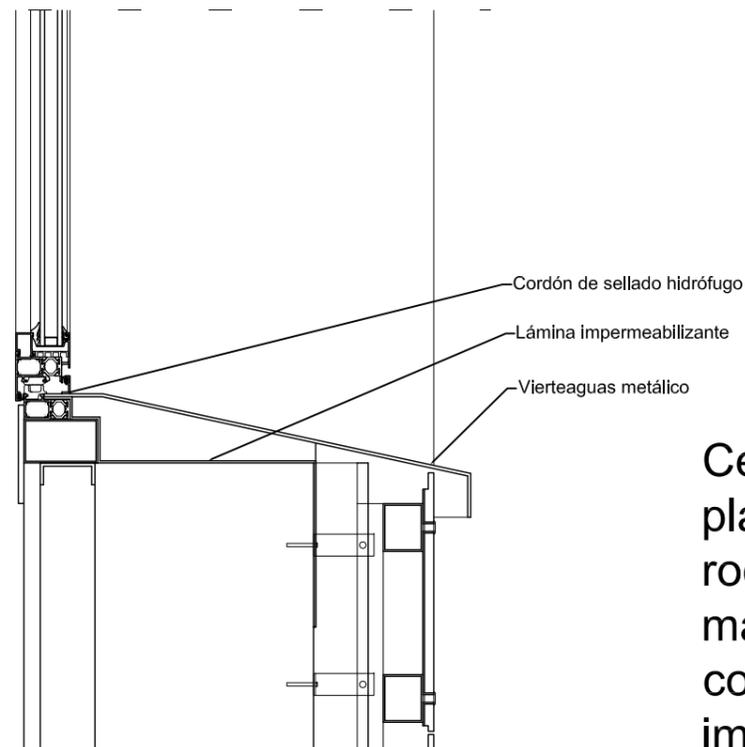
2.- Muro hormigón | placas de HPL



Sección 2vs



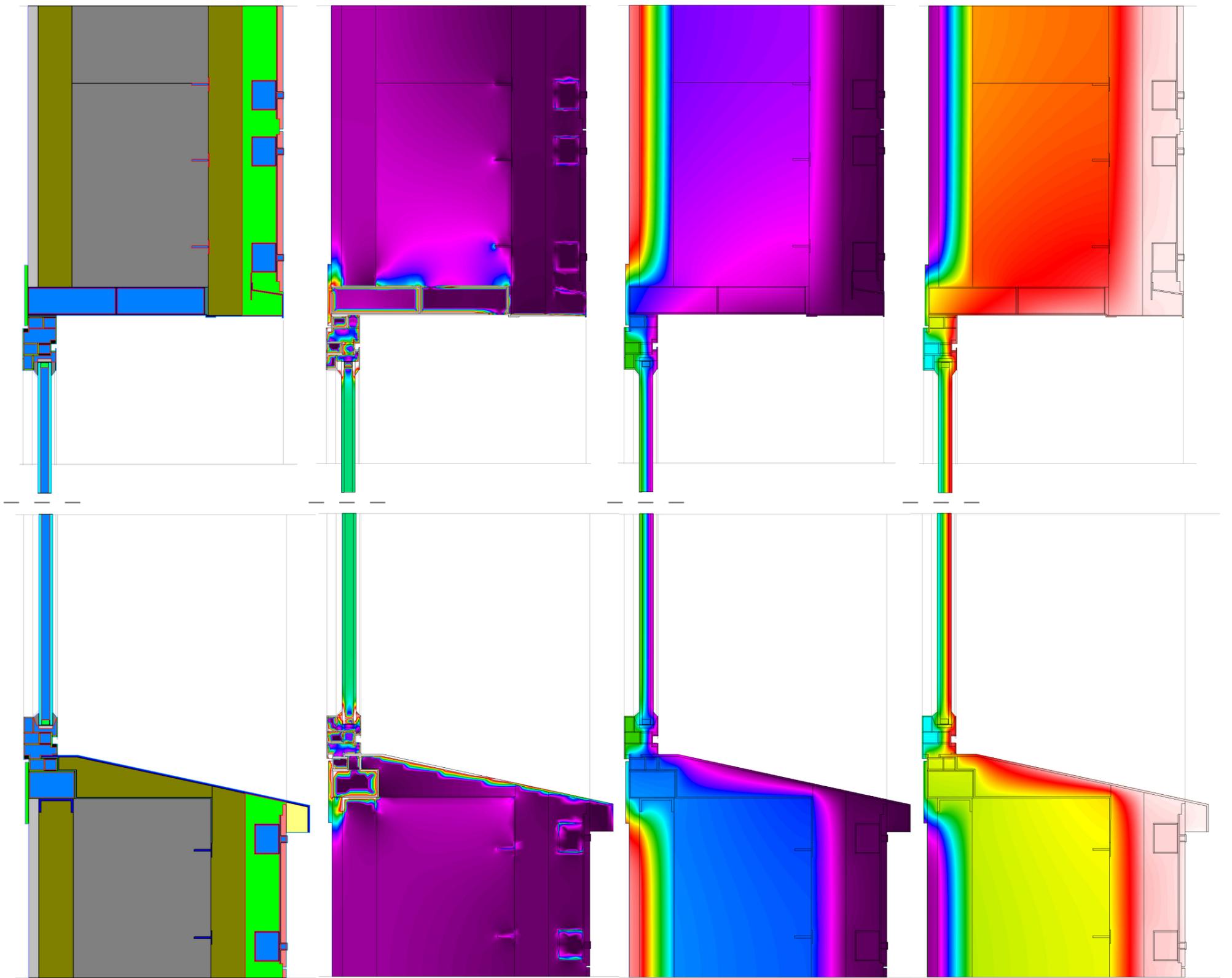
Sección 2h



Sección 2vi

Cerramiento de muro de hormigón armado trasdosado con placas de cartón yeso y aislamiento térmico de lana de roca en el interior, transventilado mediante placas de madera laminada a alta presión sobre rastreles metálicos, con cámara ventilada y aislamiento de lana de roca impermeable.

Carpintería batiente de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara. Haces interiores.

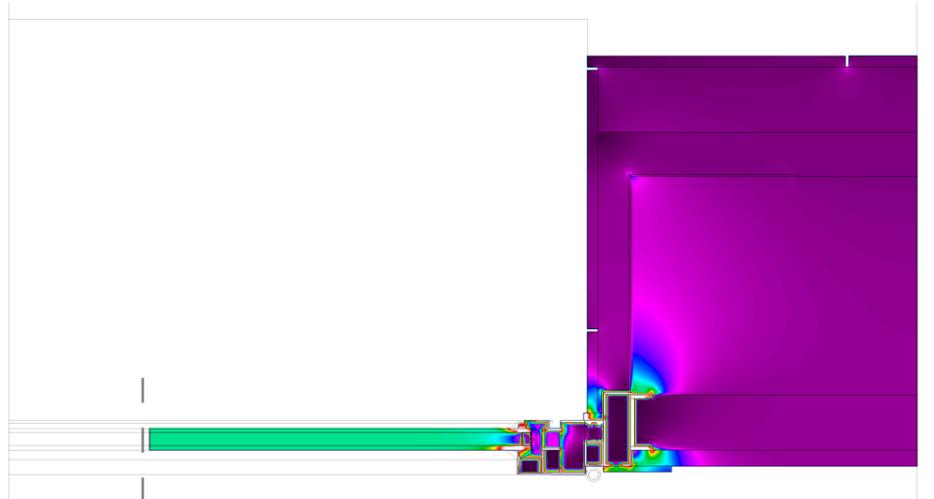
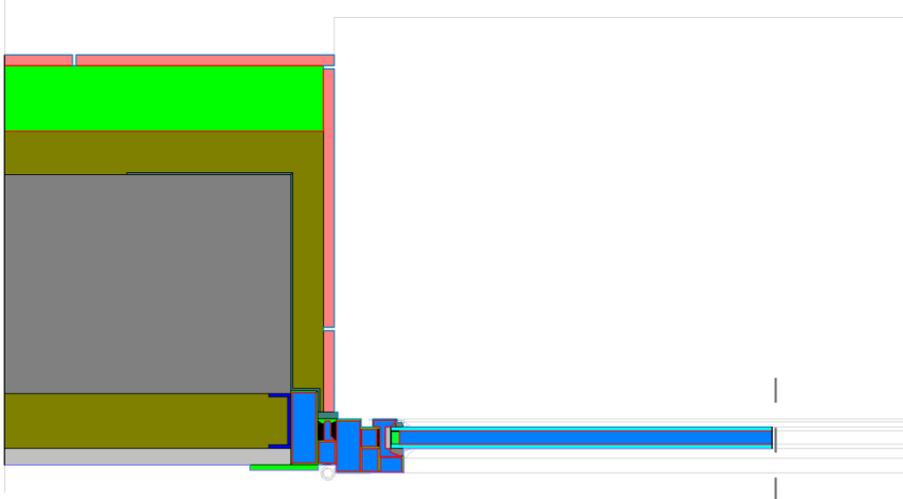


Materiales y Mallado

Flujo térmico

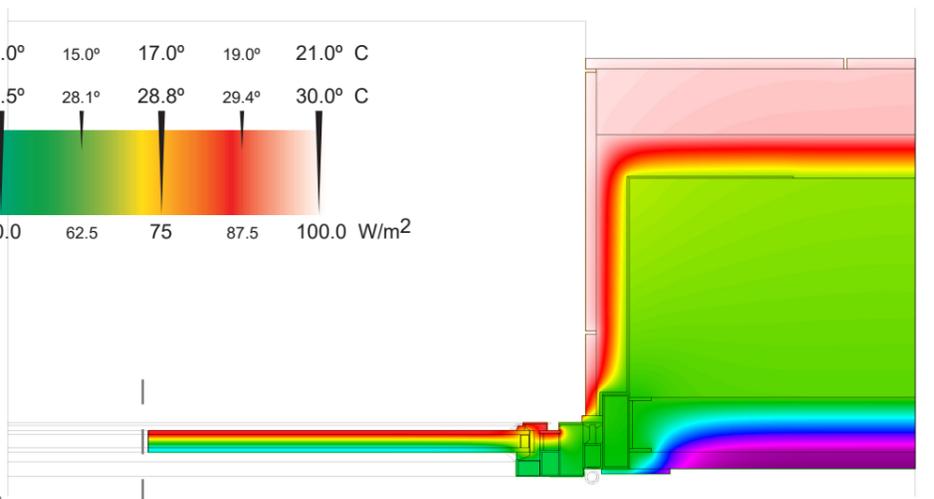
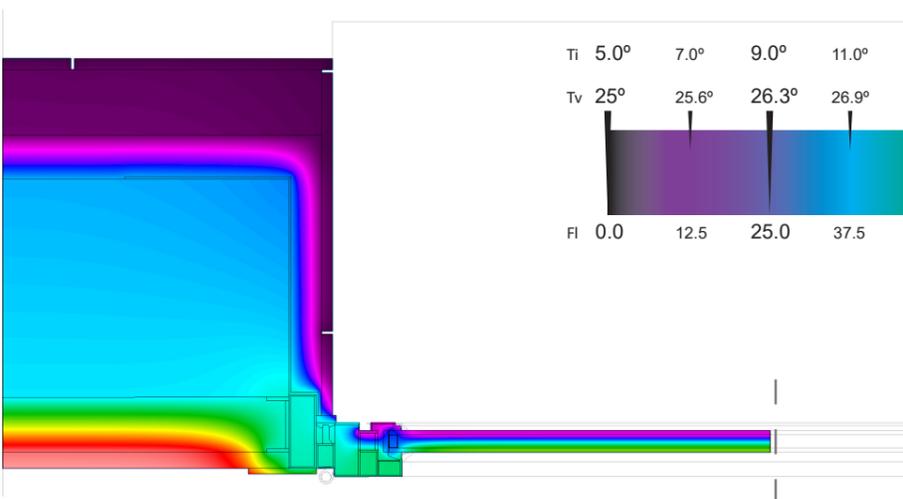
Temperatura Invierno

Temperatura Verano



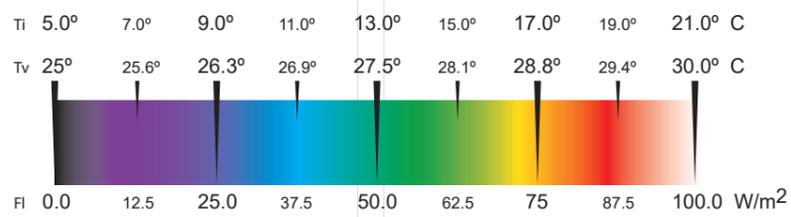
Materiales y Mallado

Flujo térmico

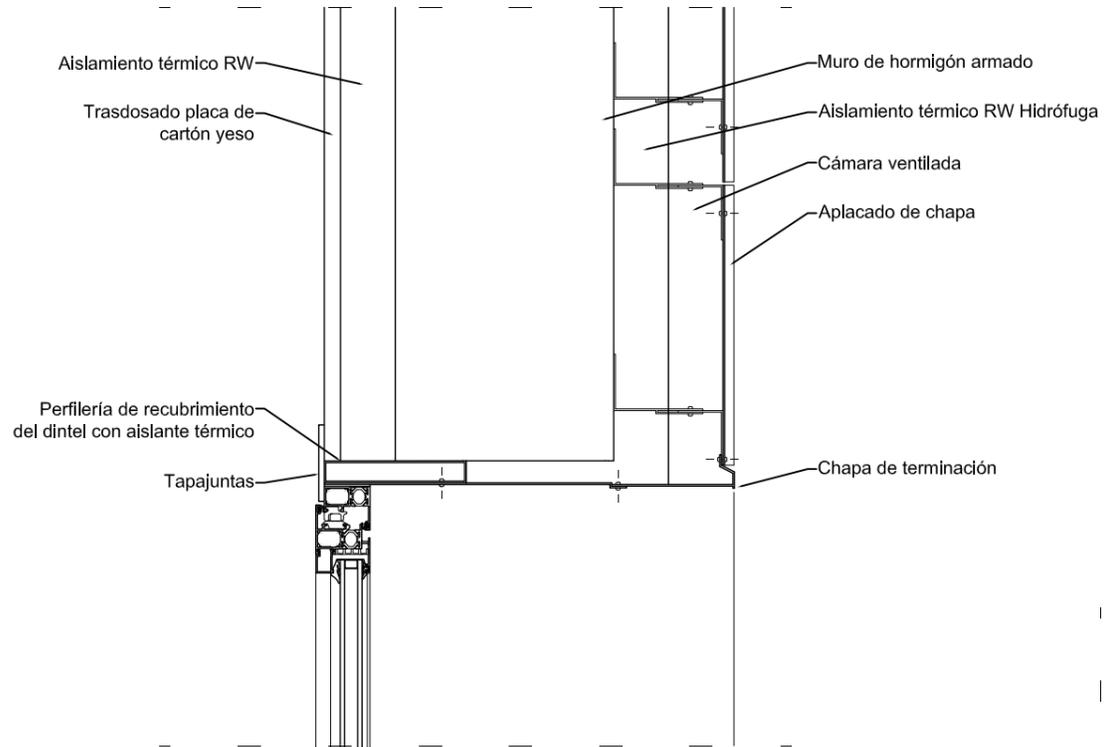


Temperatura Invierno

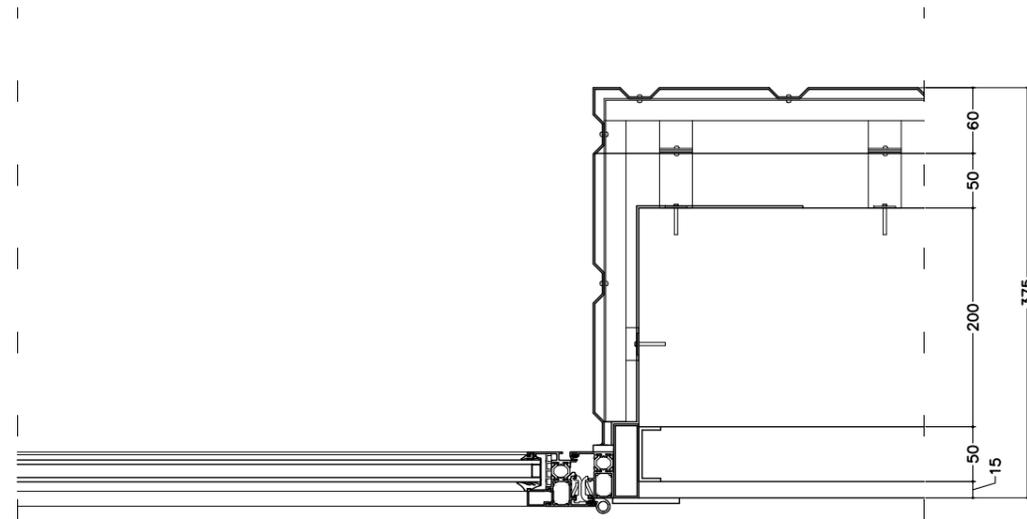
Temperatura Verano



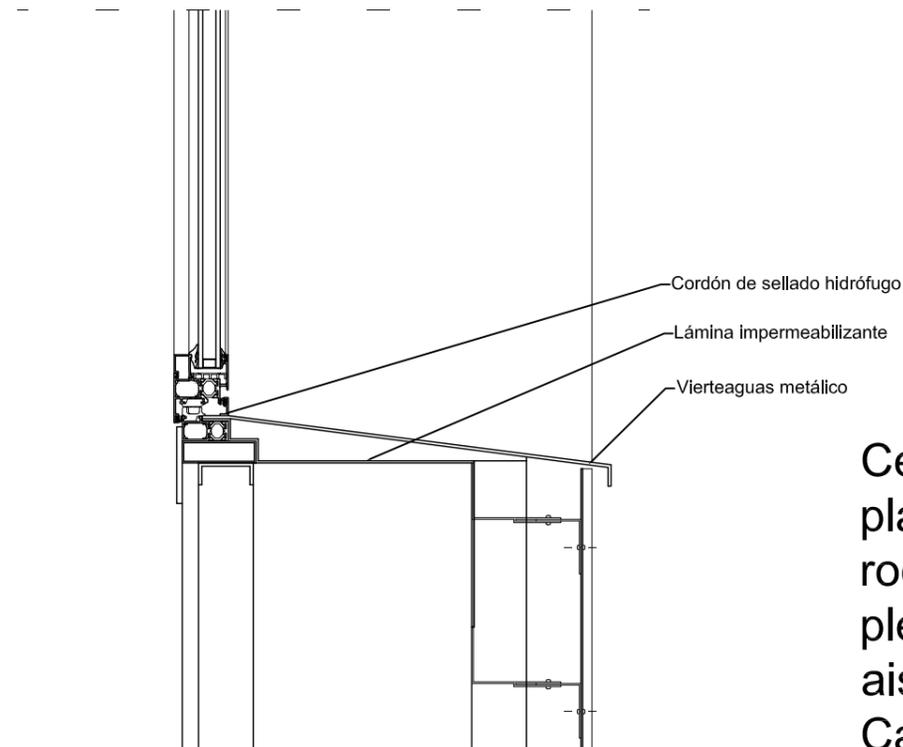
3.- Muro hormigón | chapa plegada



Sección 3vs

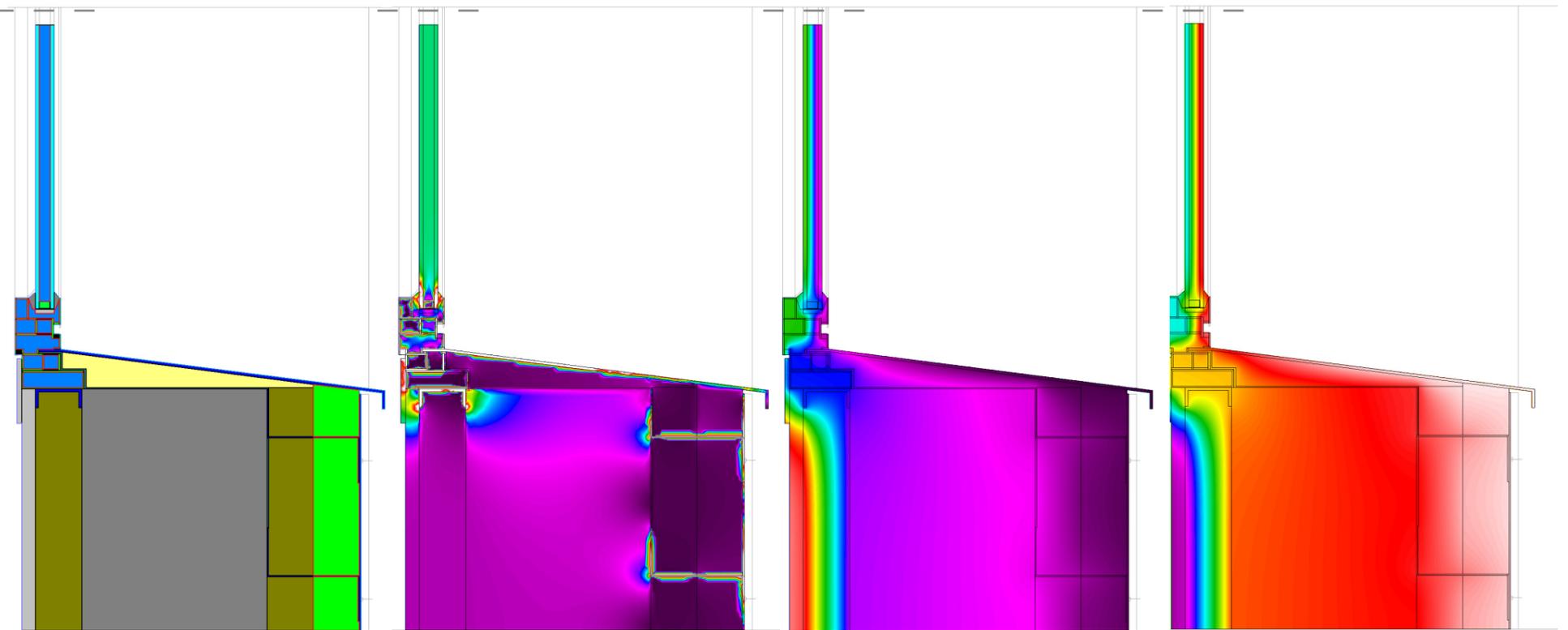
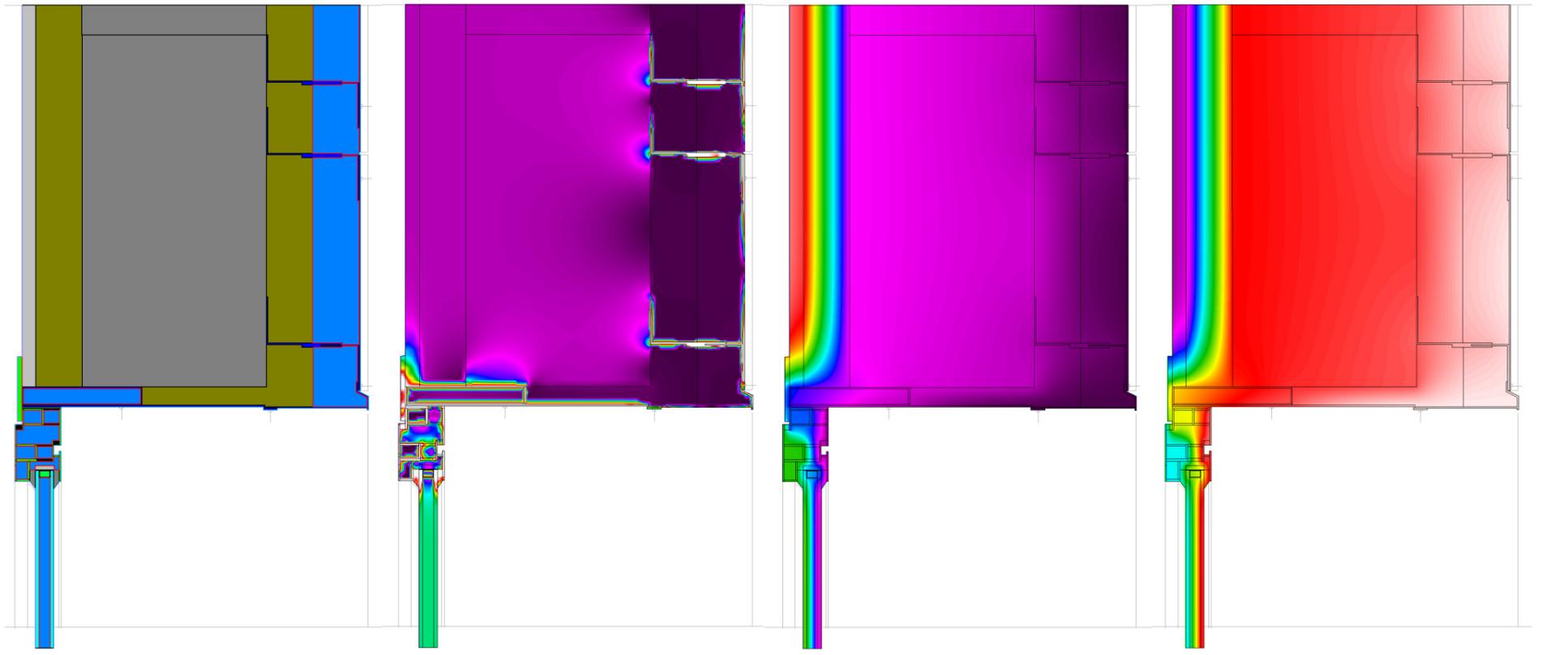


Sección 3h



Sección 3vi

Cerramiento de muro de hormigón armado trasdosado con placas de cartón yeso y aislamiento térmico de lana de roca en el interior, transventilado mediante placas de acero plegado sobre rastreles metálicos, con cámara ventilada y aislamiento de lana de roca impermeable.
Carpintería batiente de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara. Haces interiores.

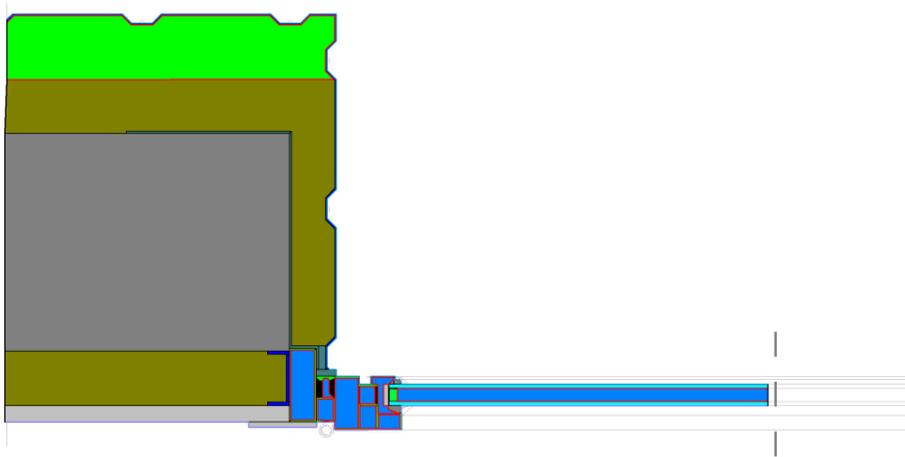


Materiales y Mallado

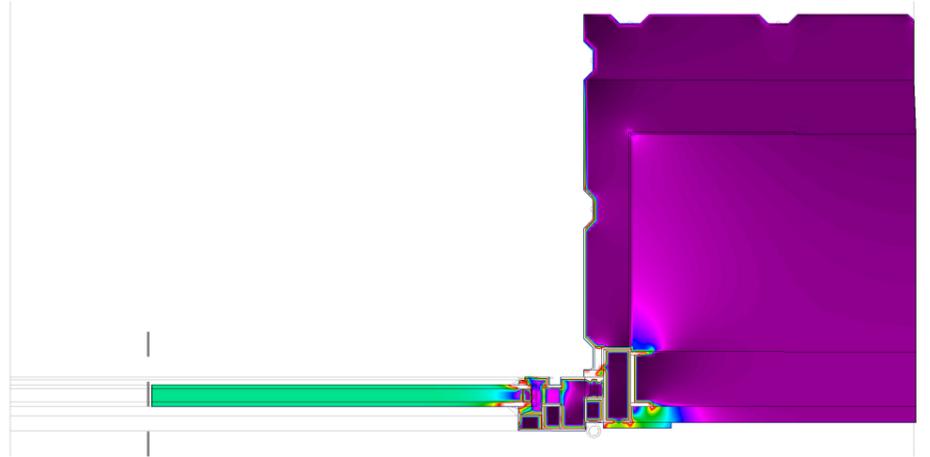
Flujo térmico

Temperatura Invierno

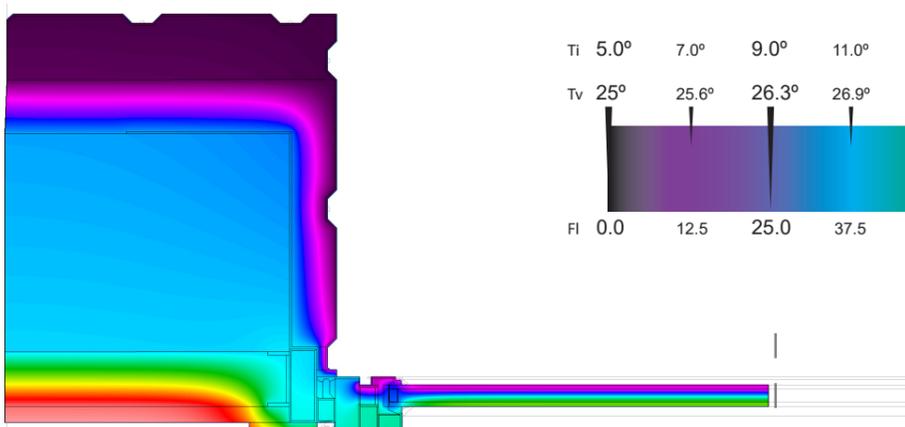
Temperatura Verano



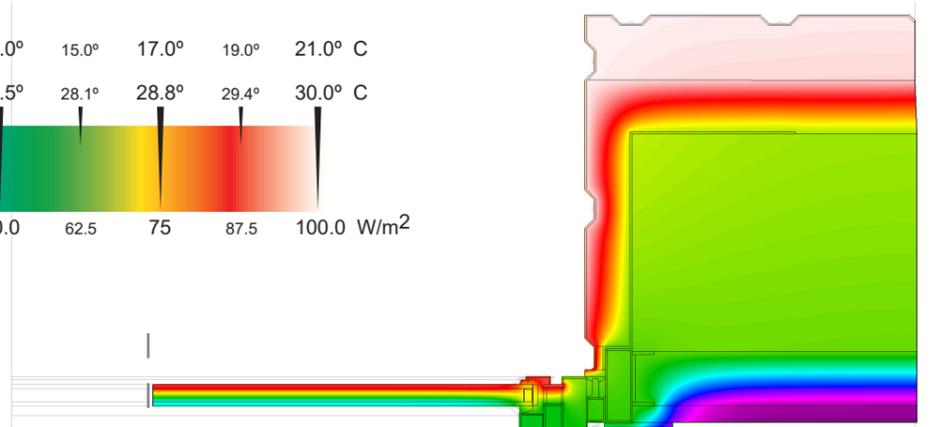
Materiales y Mallado



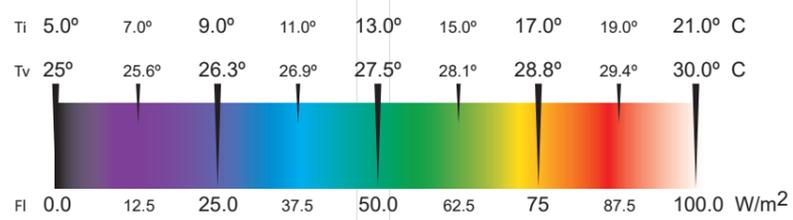
Flujo térmico



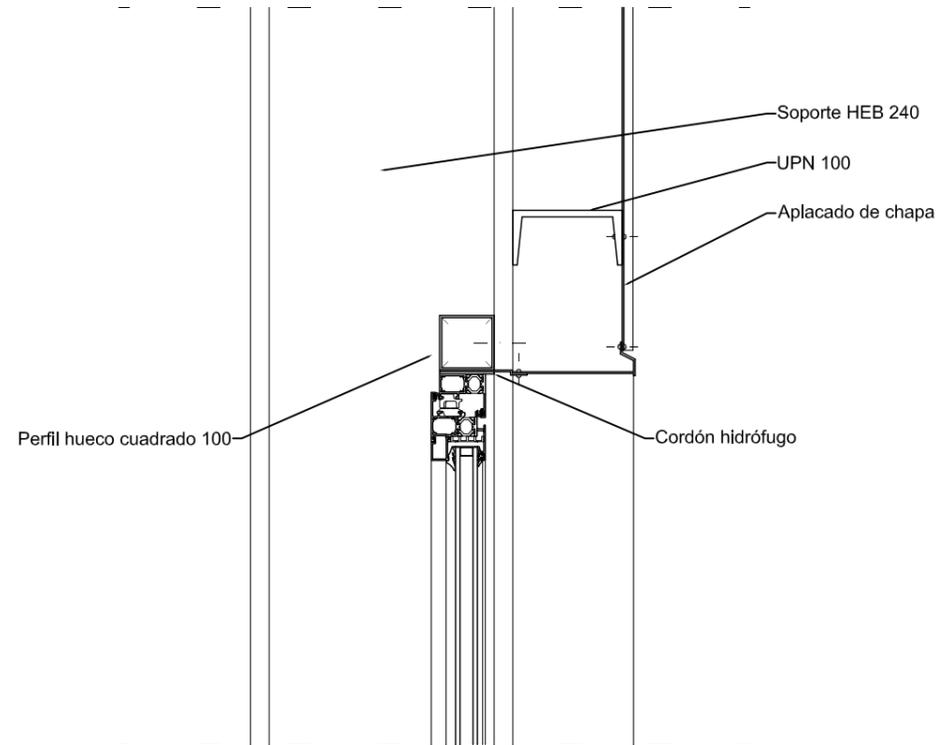
Temperatura Invierno



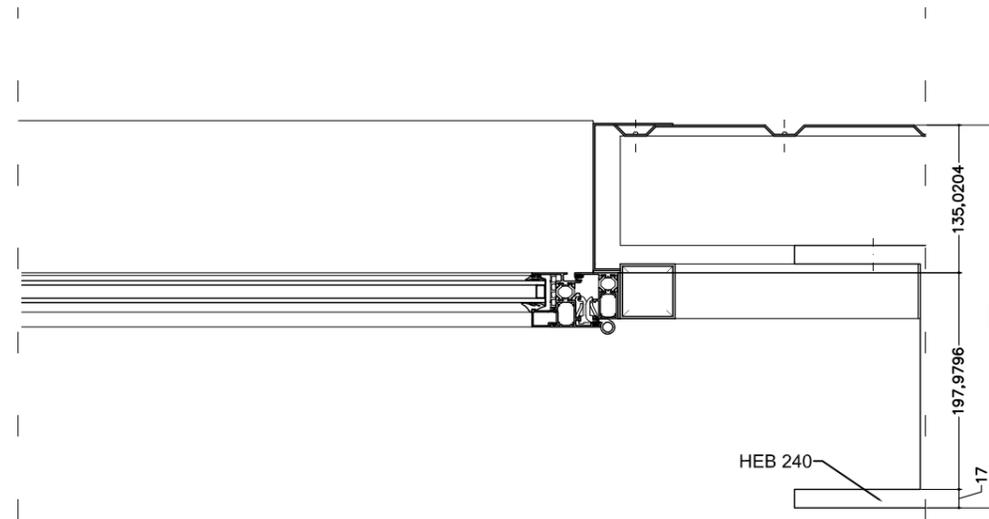
Temperatura Verano



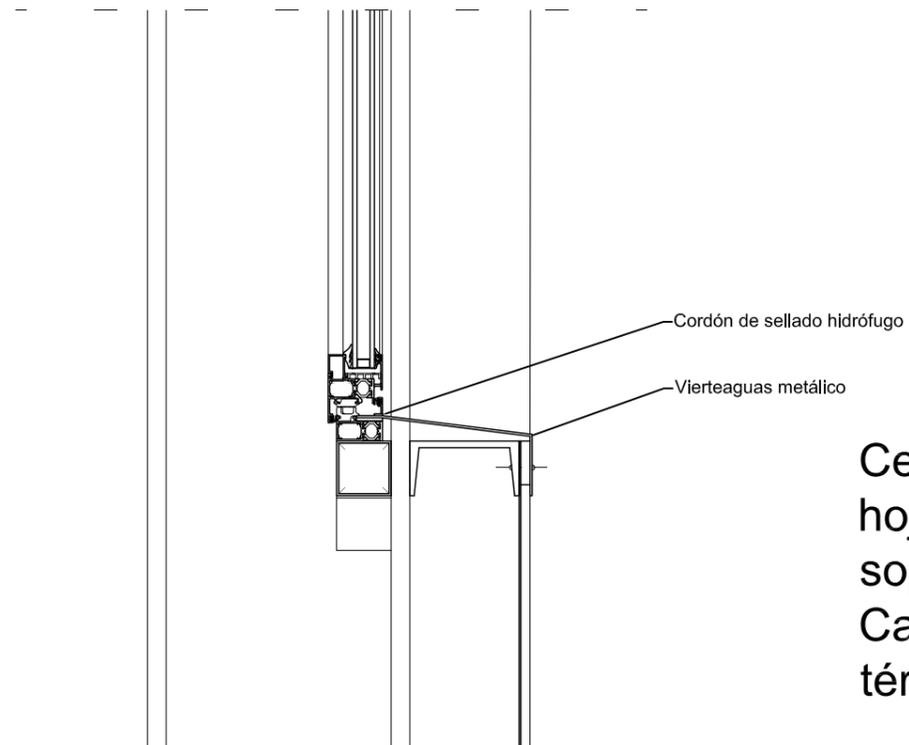
4.- Cerramiento de chapa plegada simple



Sección 4vs



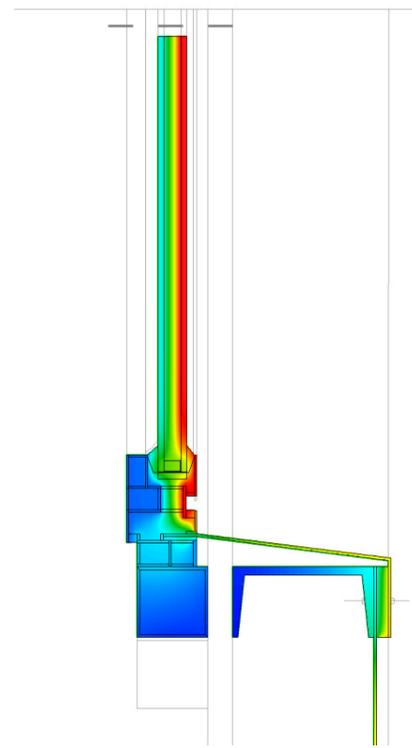
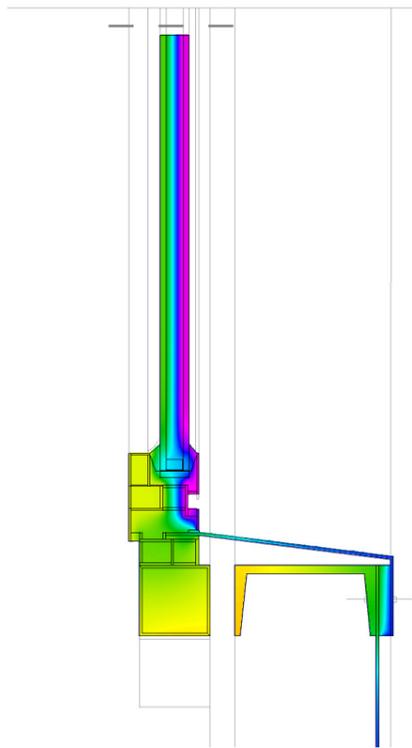
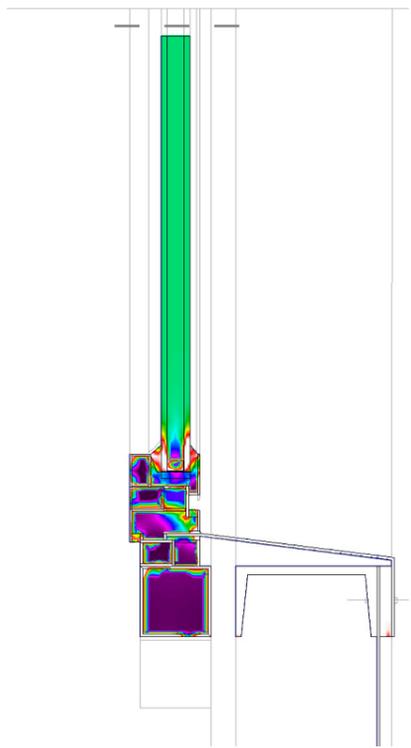
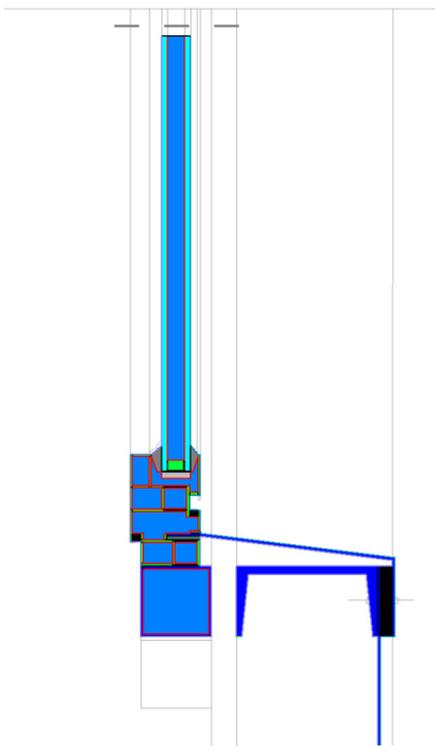
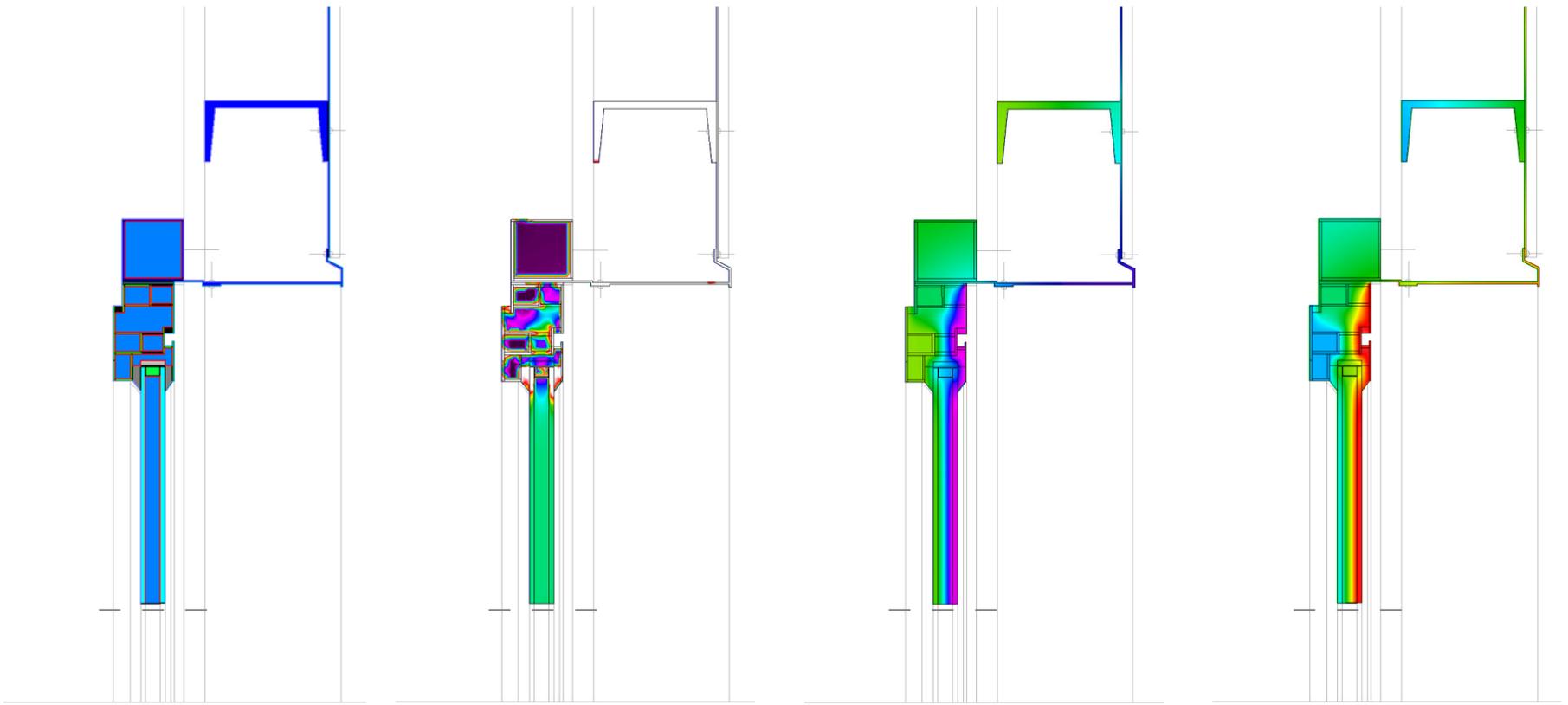
Sección 4h



Sección 4vi

Cerramiento de nave industrial compuesto de una única hoja de chapa plegada, anclada mediante rastreles a los soportes de acero.

Carpintería batiente de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara. Haces interiores.

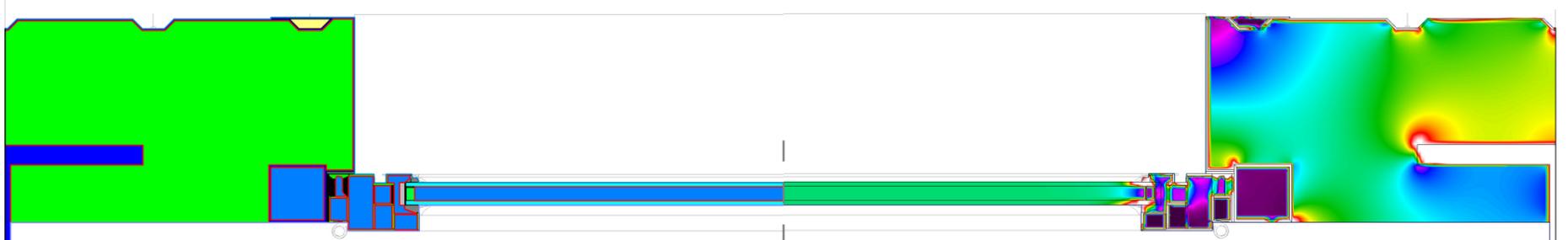


Materiales y Mallado

Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano

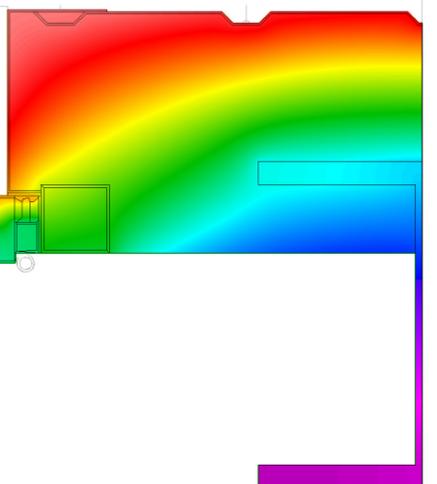
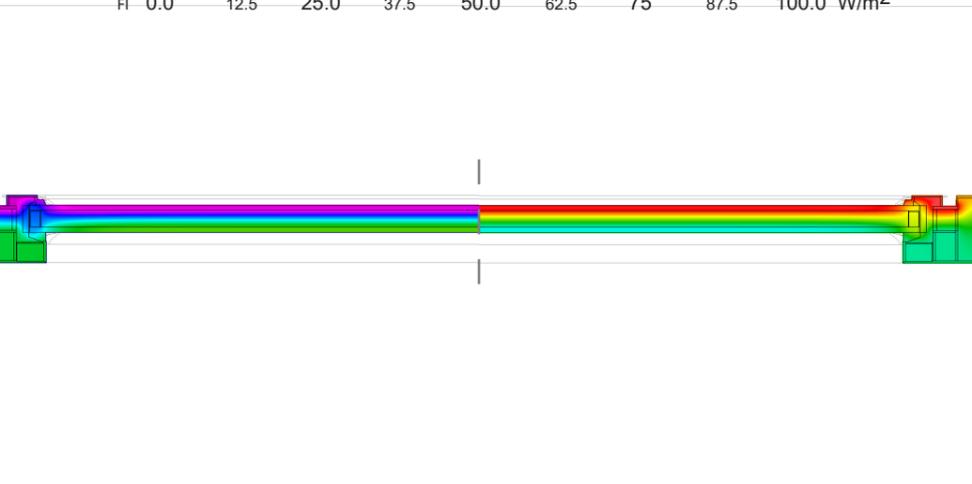
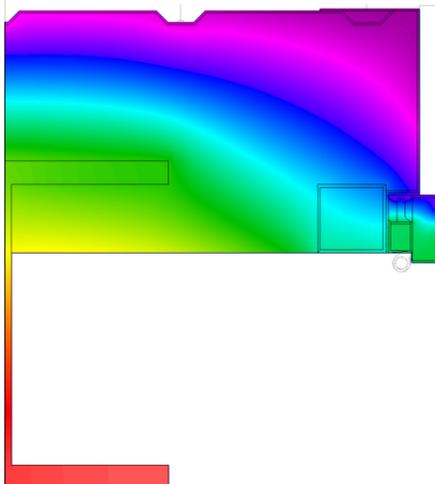


Ti 5.0° 7.0° 9.0° 11.0° 13.0° 15.0° 17.0° 19.0° 21.0° C
 Tv 25° 25.6° 26.3° 26.9° 27.5° 28.1° 28.8° 29.4° 30.0° C

Fl 0.0 12.5 25.0 37.5 50.0 62.5 75 87.5 100.0 W/m²

Materiales y Mallado

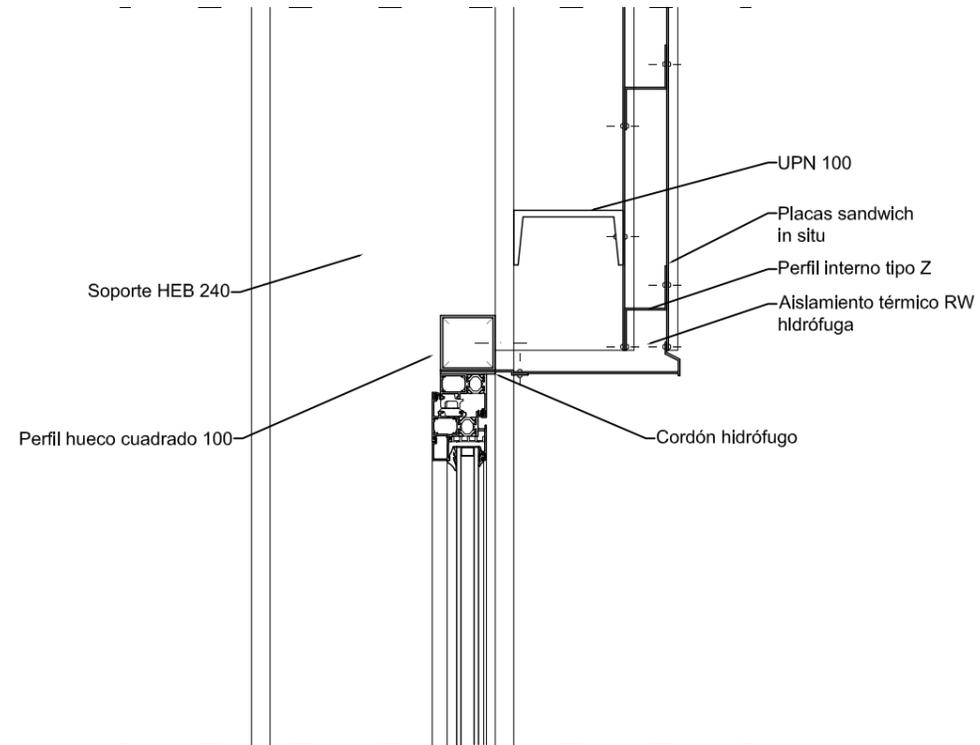
Flujo térmico



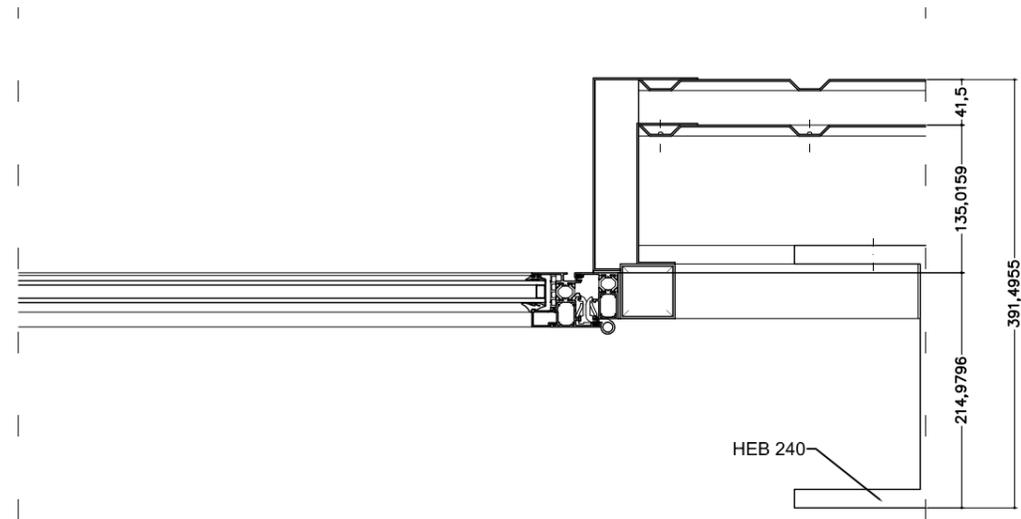
Temperatura Invierno

Temperatura Verano

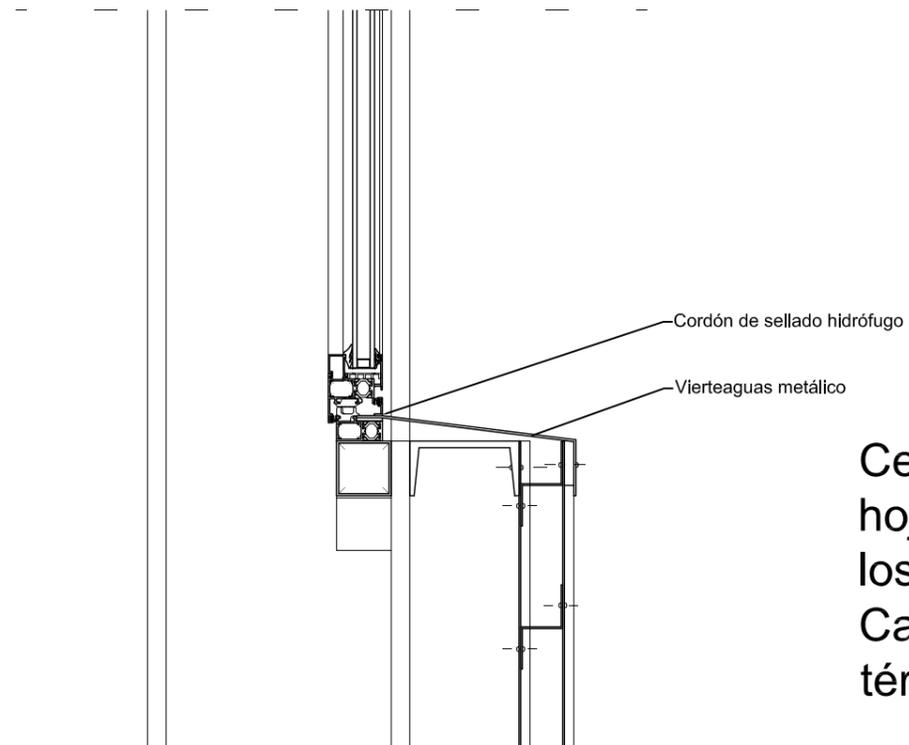
5.- Cerramiento de chapa tipo "sandwich"



Sección 5vs



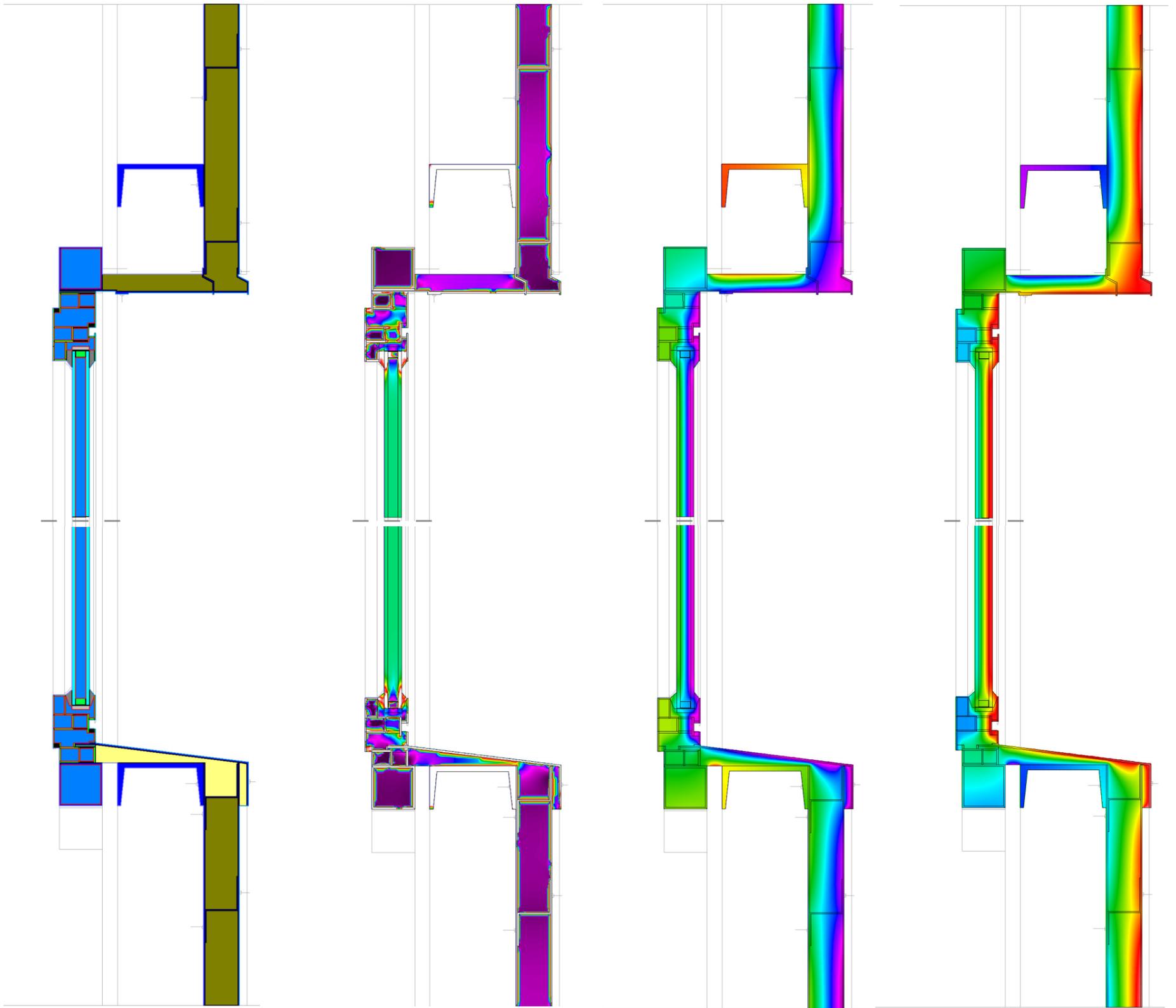
Sección 5h



Sección 5vi

Cerramiento de nave industrial compuesto de una única hoja de panel tipo sandwich, anclada mediante rastreles a los soportes de acero.

Carpintería batiente de aluminio con rotura del puente térmico y doble vidrio con cámara. Haces interiores.

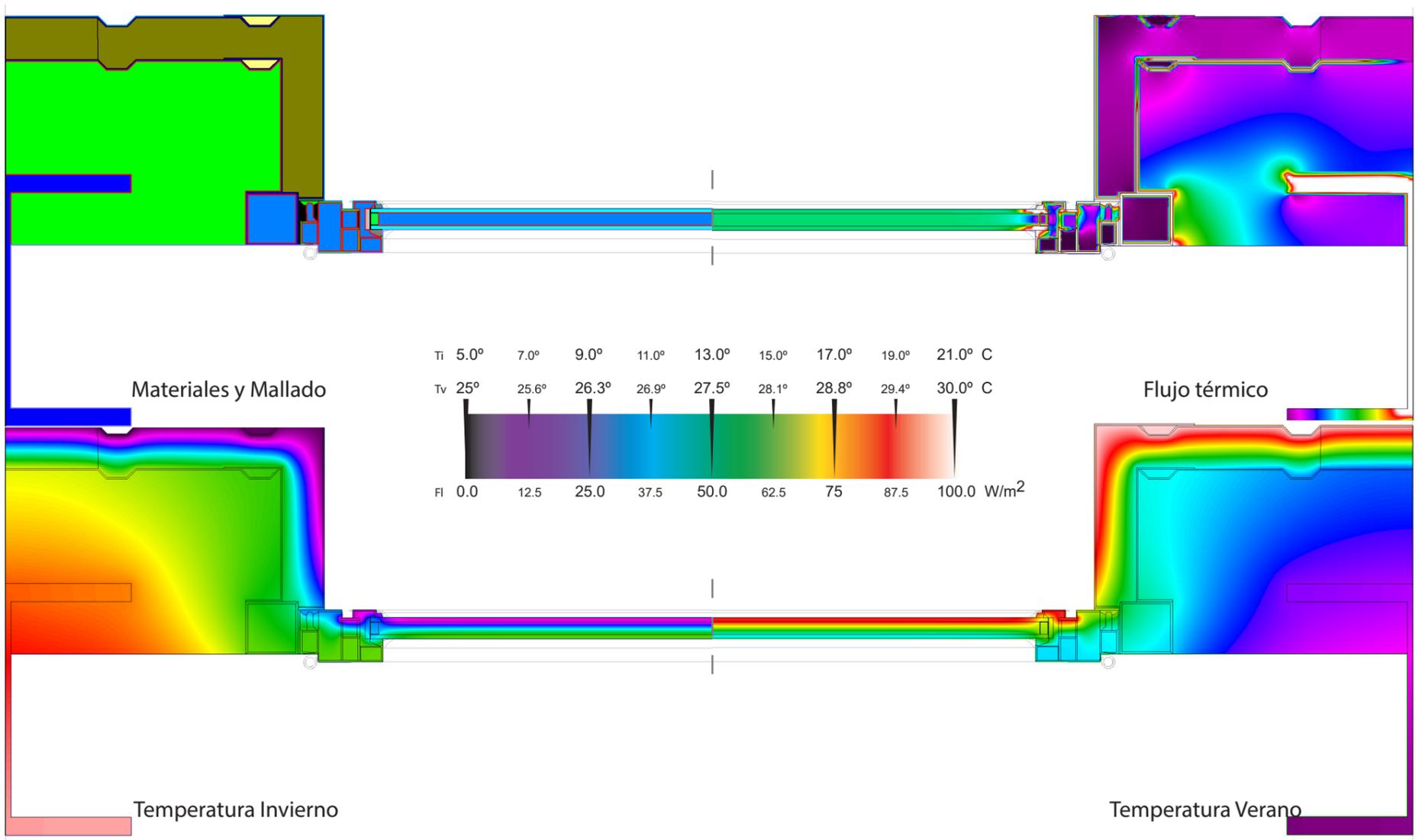


Materiales y Mallado

Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano



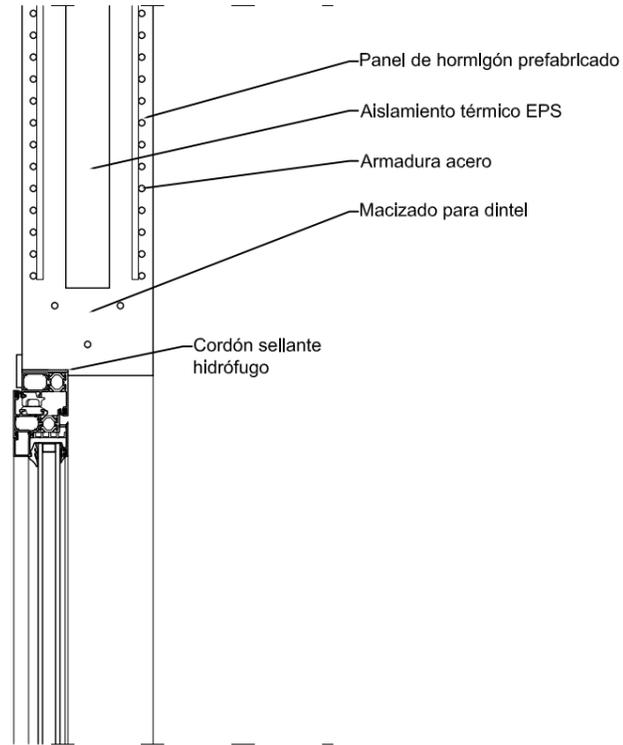
Materiales y Mallado

Flujo térmico

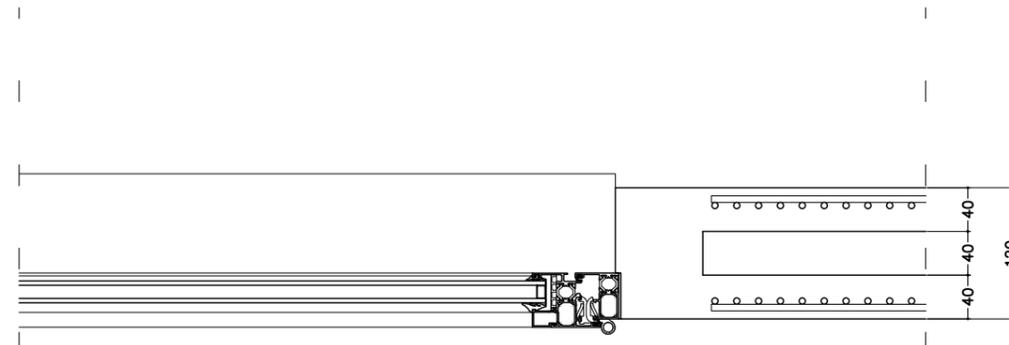
Temperatura Invierno

Temperatura Verano

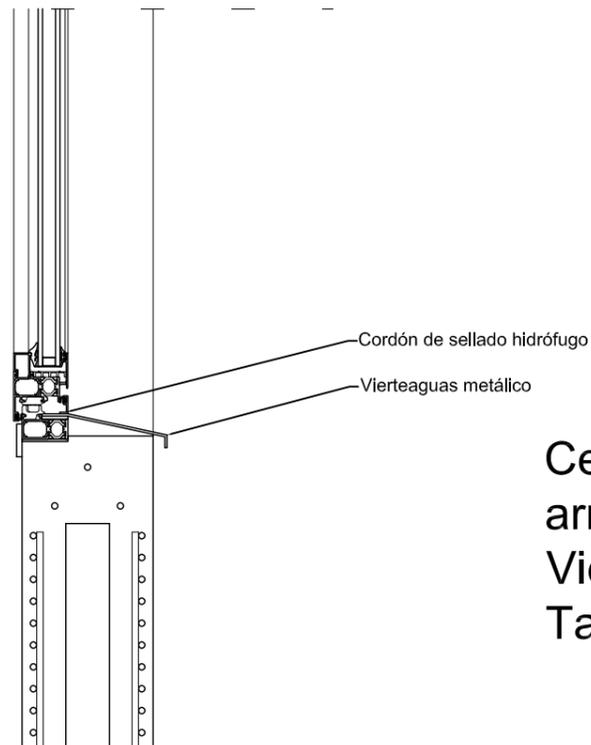
6.- Cerramiento de paneles de hormigón



Sección 6a-vs

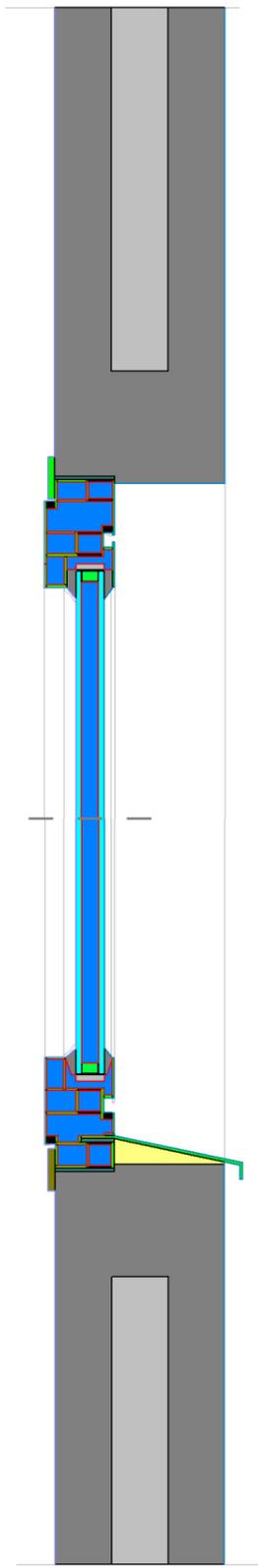


Sección 6a-h

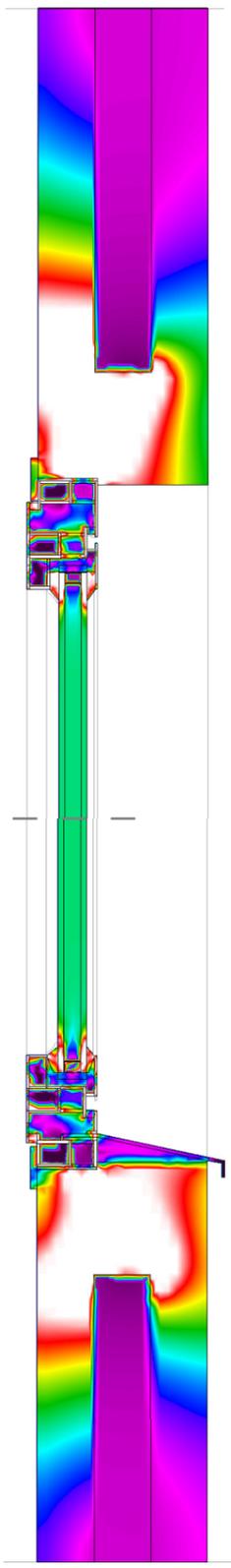


Sección 6a-vi

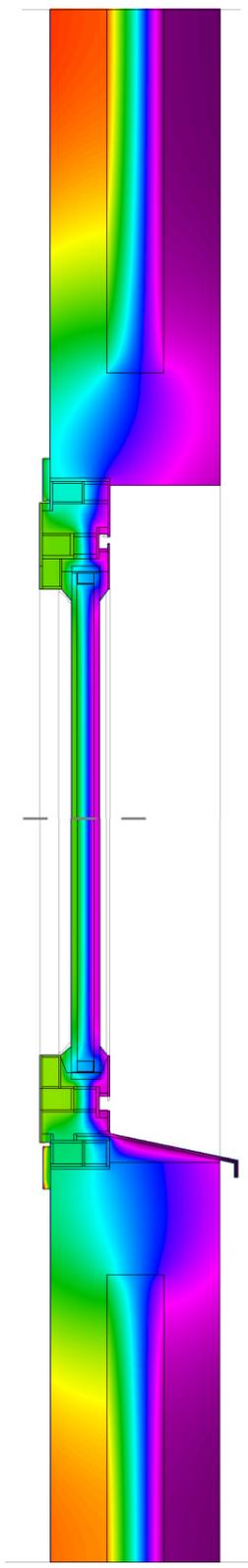
Cerramiento compuesto de placa prefabricada de hormigón armado, con un núcleo relleno de poliestireno expandido. Vierteaguas de Al-PE-Al sobre espuma de poliuretano. Tapajuntas de cartón yeso.



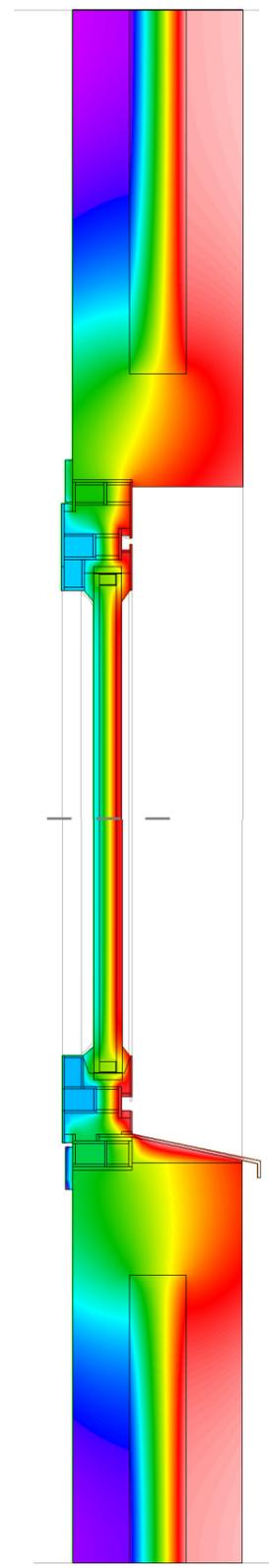
Materiales y Mallado



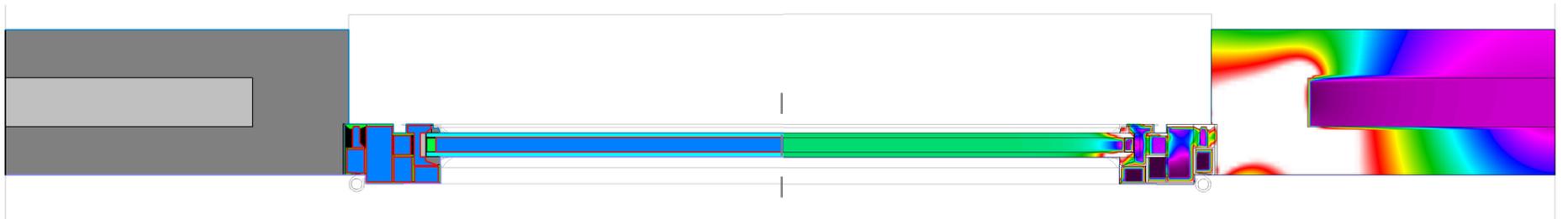
Flujo térmico



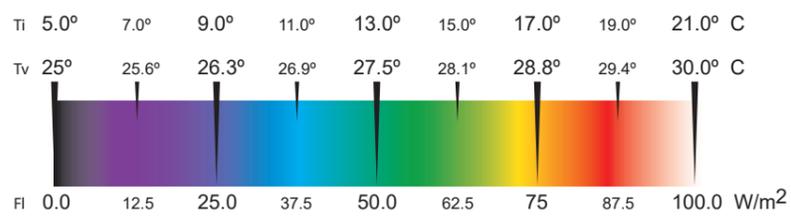
Temperatura Invierno



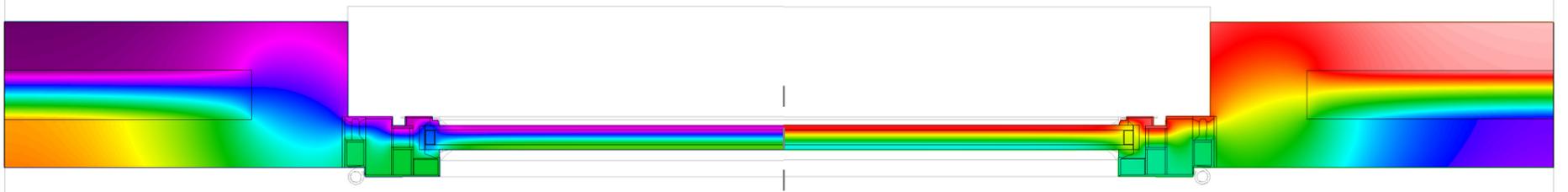
Temperatura Verano



Materiales y Mallado



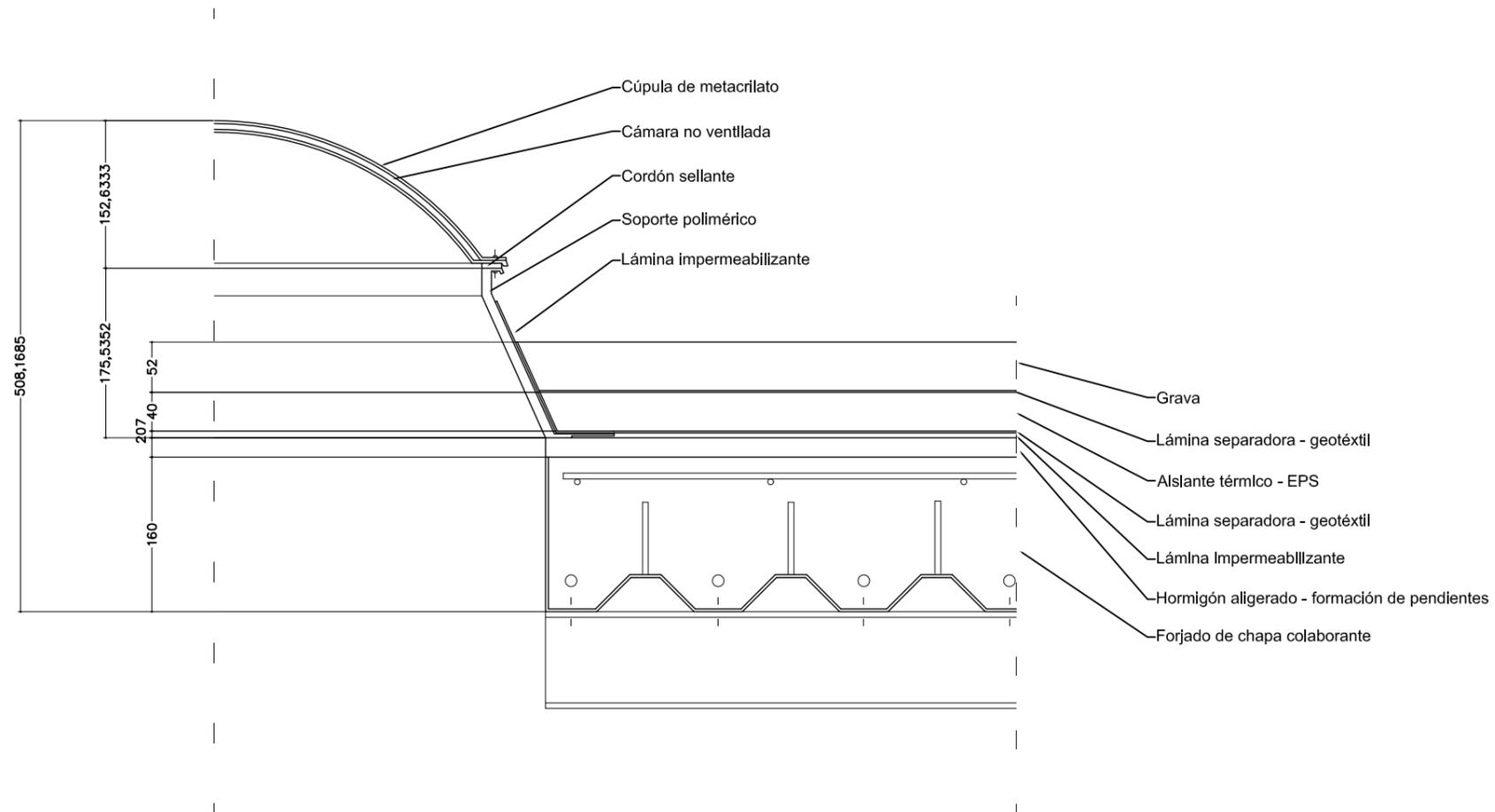
Flujo térmico



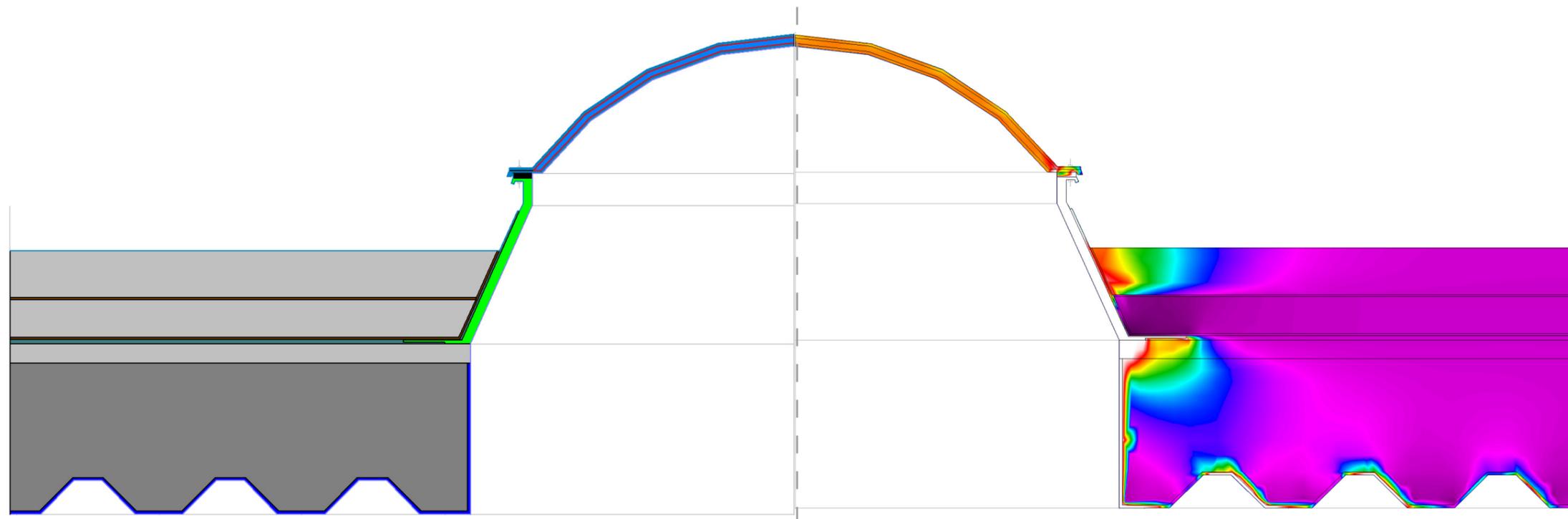
Temperatura Invierno

Temperatura Verano

7.- Detalle claraboya en cubierta invertida

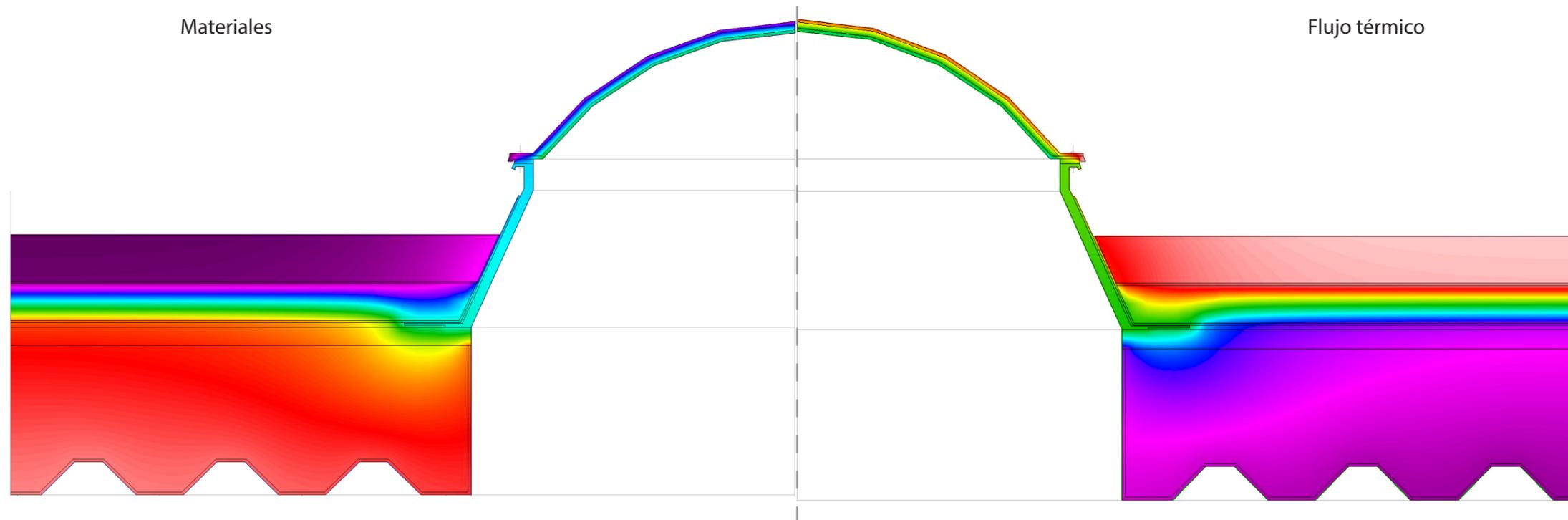


Claraboya de metacrilato con marco polimérico. Cubierta invertida plana no transitable sobre forjado de chapa colaborante.



Materiales

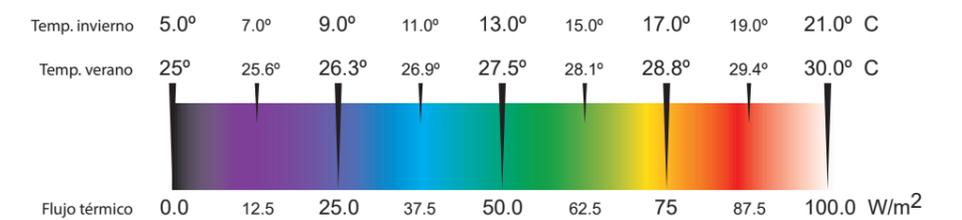
Flujo térmico



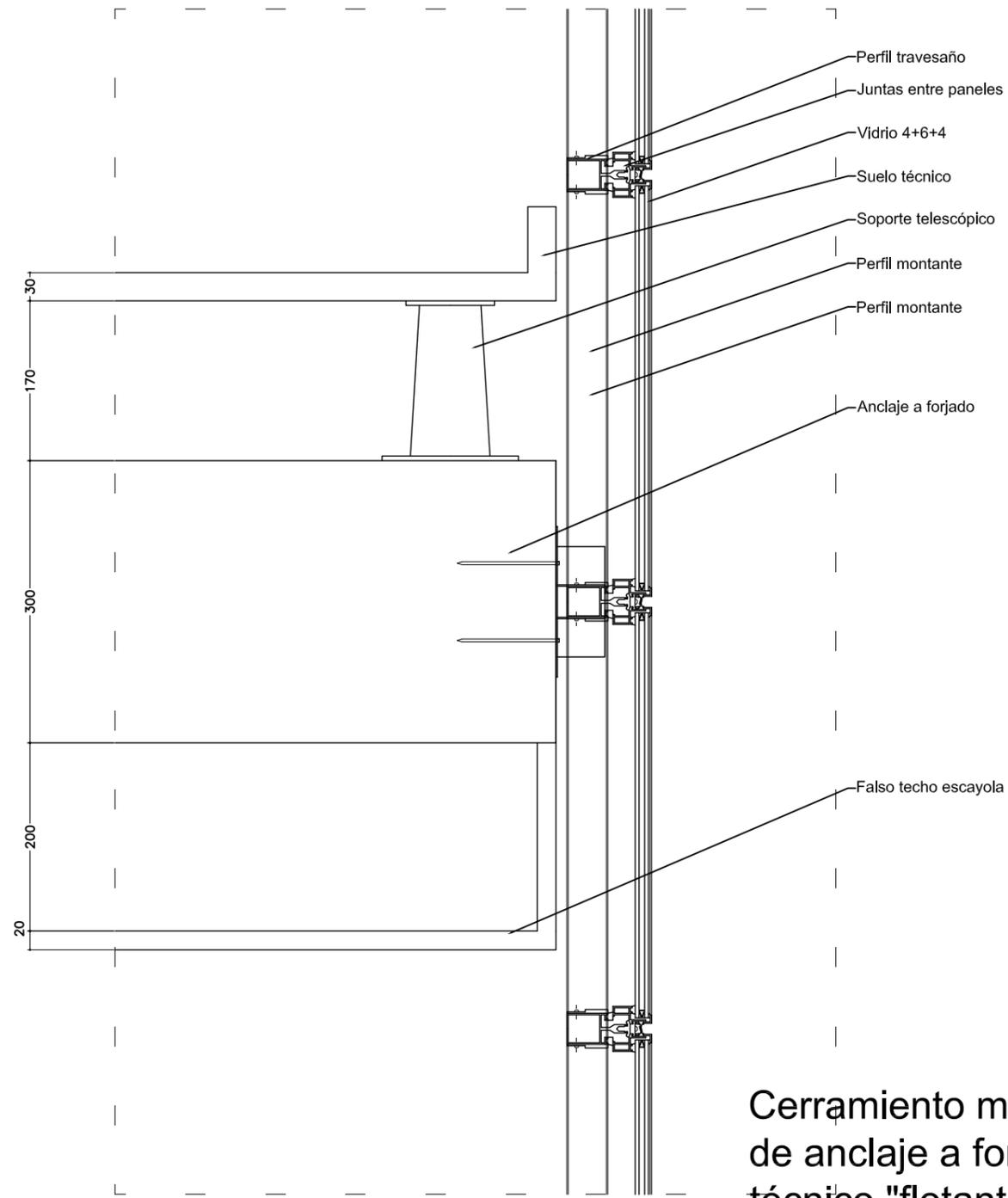
Temperatura Invierno

Temperatura Verano

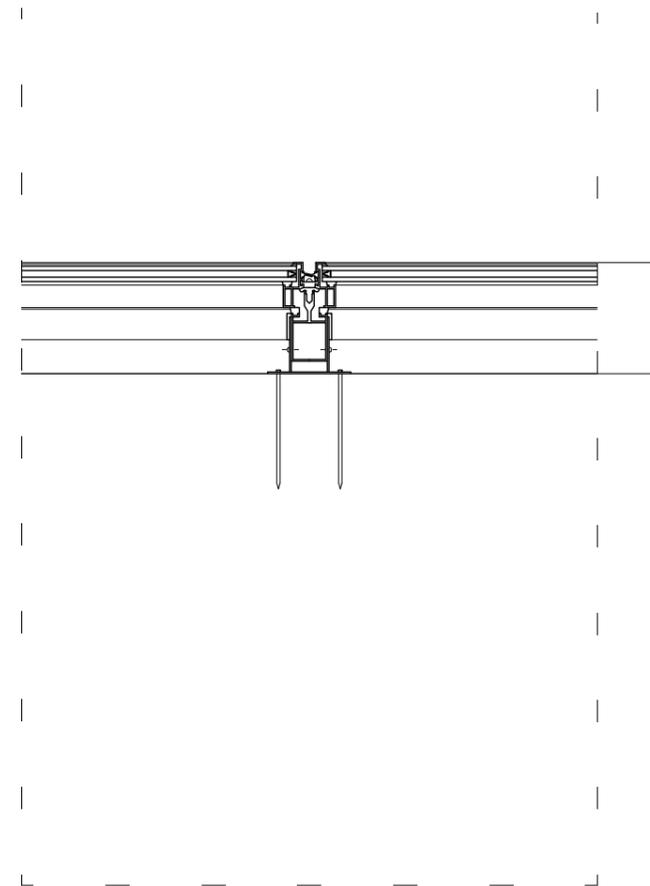
7.- Claraboya con carpintería de aluminio y policarbonato de dos hojas con cámara intermedia sobre cubierta no transitada invertida formada por un forjado de chapa colaborante, capa de formación de pendientes de hormigón aligerado con arcilla expandida, lámina impermeabilizante de betún modificado separada por láminas geotextiles, capa de aislamiento térmico de espuma de poliuretano, capa separadora geotéxtil y acabado de grava.



8.- Muro cortina



Sección 8-v

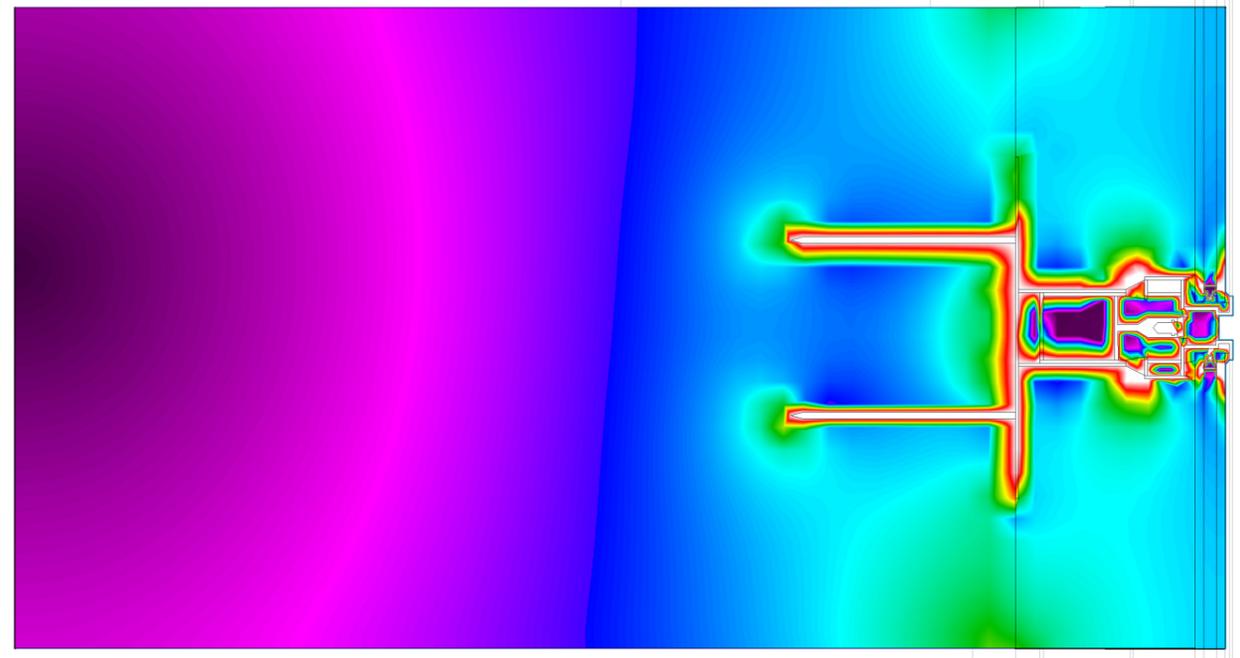


Sección 8-h

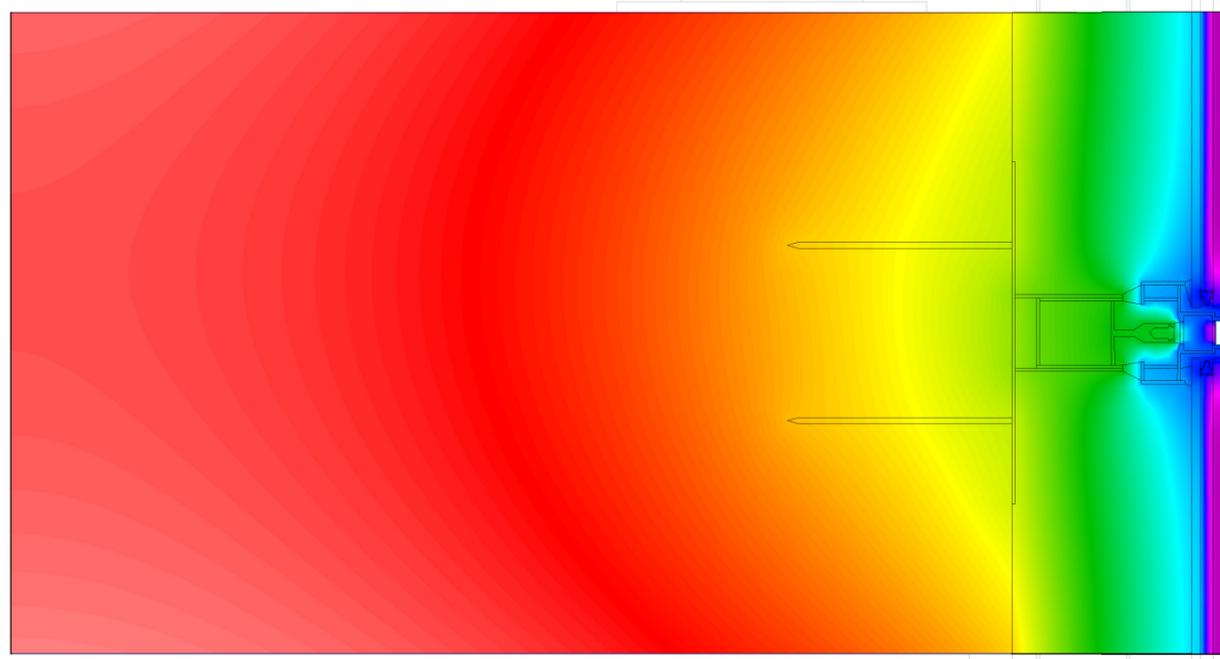
Cerramiento mediante muro cortina semimodular. Detalles de anclaje a forjado de losa de hormigón armado. Suelo técnico "flotante" desmontable.



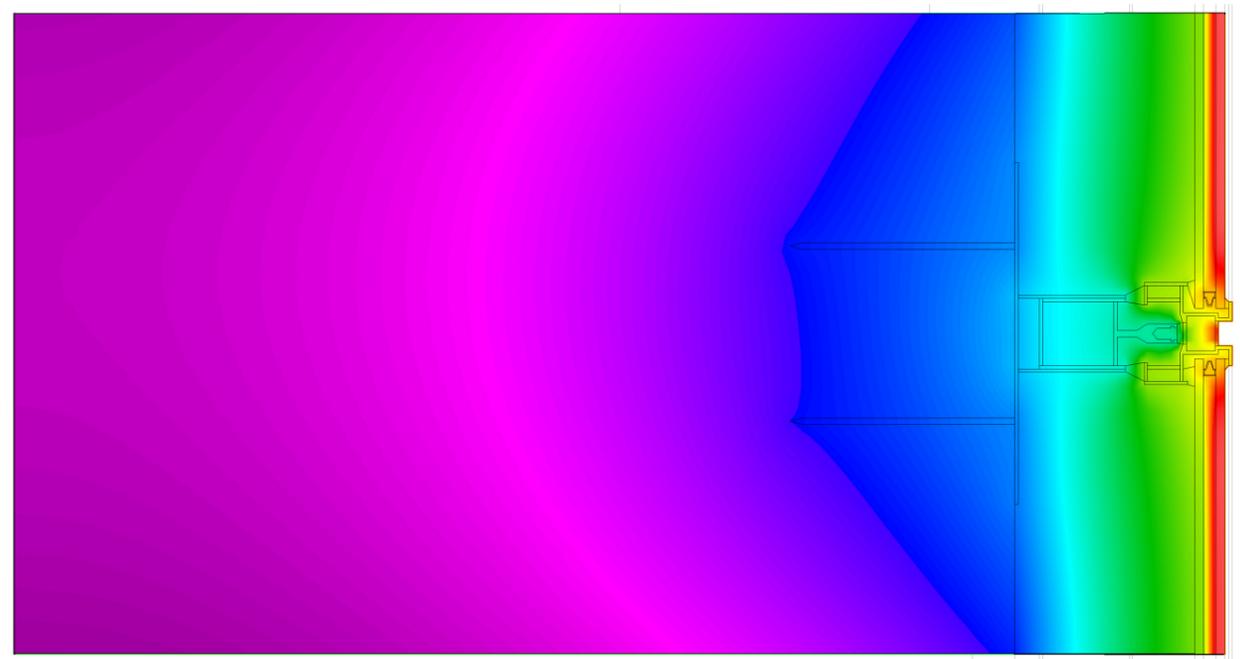
Materiales



Flujo térmico



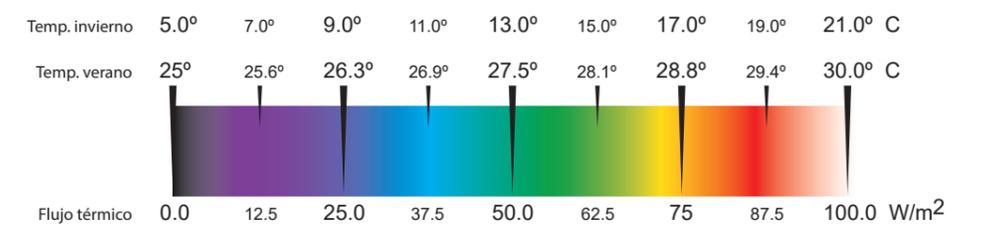
Temperatura Invierno



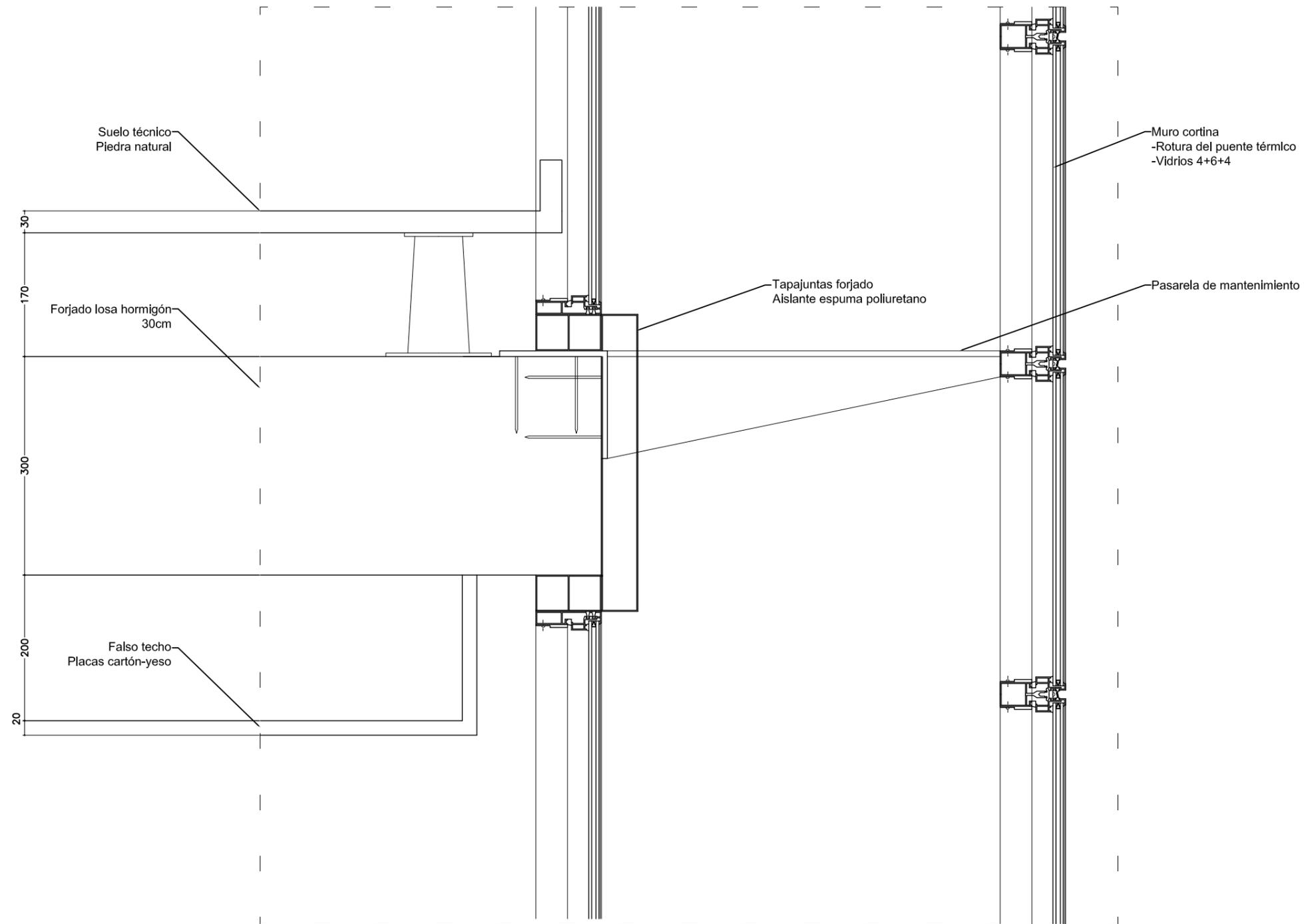
Temperatura Verano

SECCIÓN VERTICAL

8.- Cerramiento mediante muro cortina semimodular. Detalle de anclaje a forjado de losa de hormigón armado. Cámara de aire entre forjado y muro cortina poco ventilada.

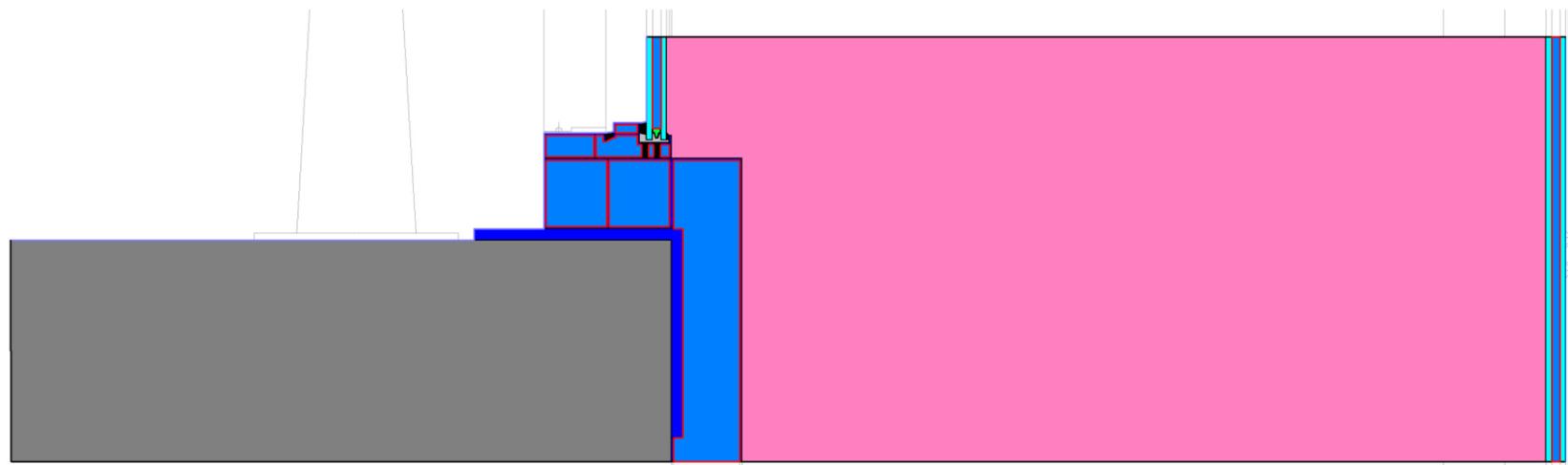


9.- Muro cortina doble hoja con plataforma para mantenimiento

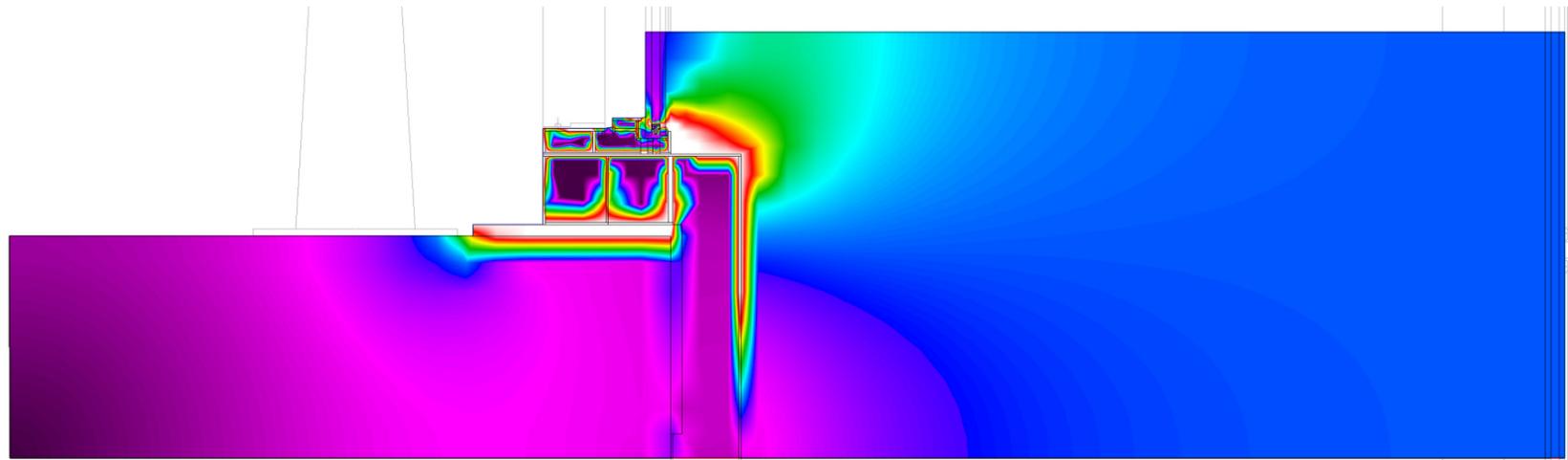


Sección 9-v

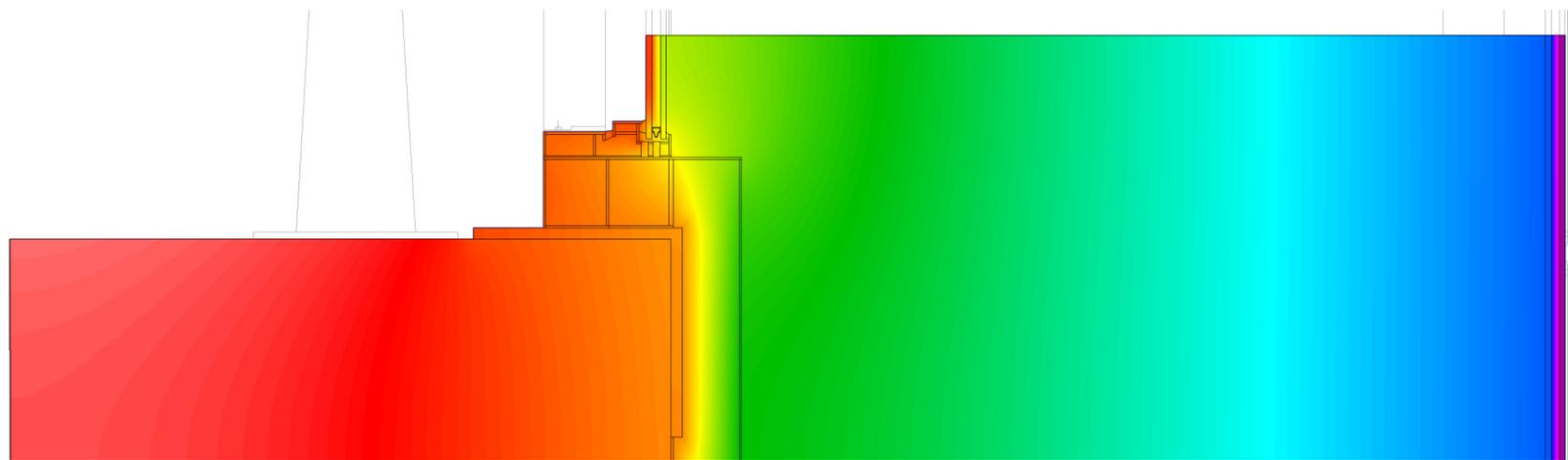
Cerramiento de doble hoja con cámara ventilada accesible para mantenimiento, compuesto de muro de fachada de vidrio y muro cortina exterior. Detalle de anclaje a forjado de losa de hormigón armado. Suelo técnico "flotante" desmontable.



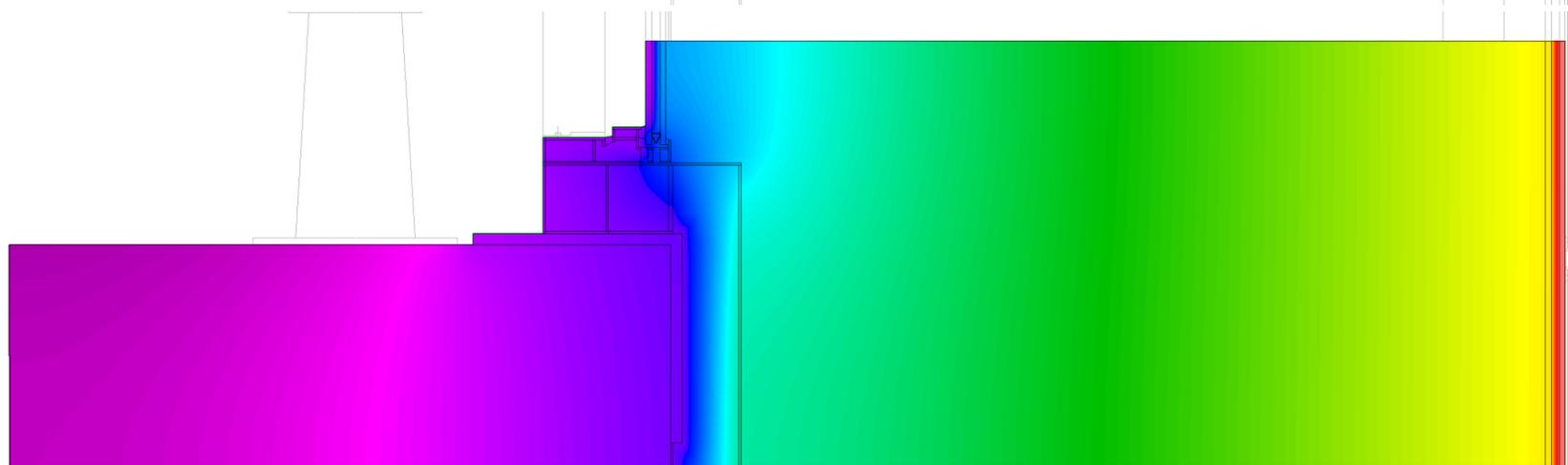
Materiales



Flujo térmico



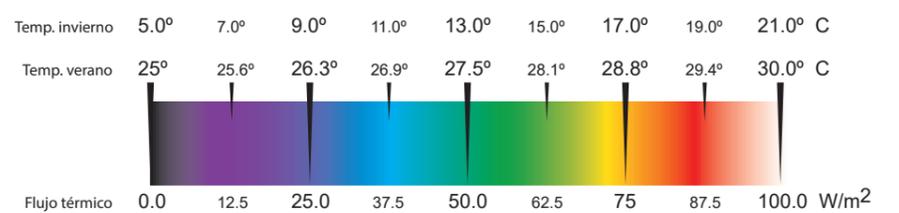
Temperatura Invierno



Temperatura Verano

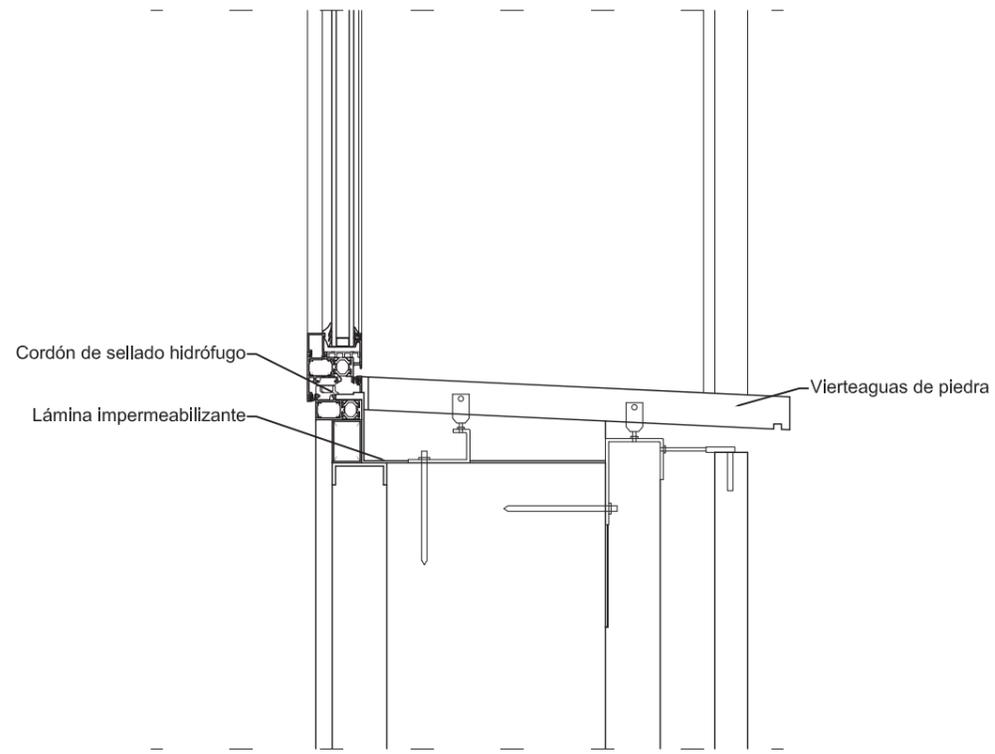
SECCIÓN VERTICAL

9.- Cerramiento compuesto de muro de fachada anclado a suelo y techo en forjado, cámara intermedia accesible mediante pasa relas fijas o desmontables y muro cortina exterior. Cámara intermedia poco ventilada. Forjado de losa de hormigón armado. Carpintería interna anclada mediante perfilera hueca al forjado y tapajuntas del canto de idénticas características.

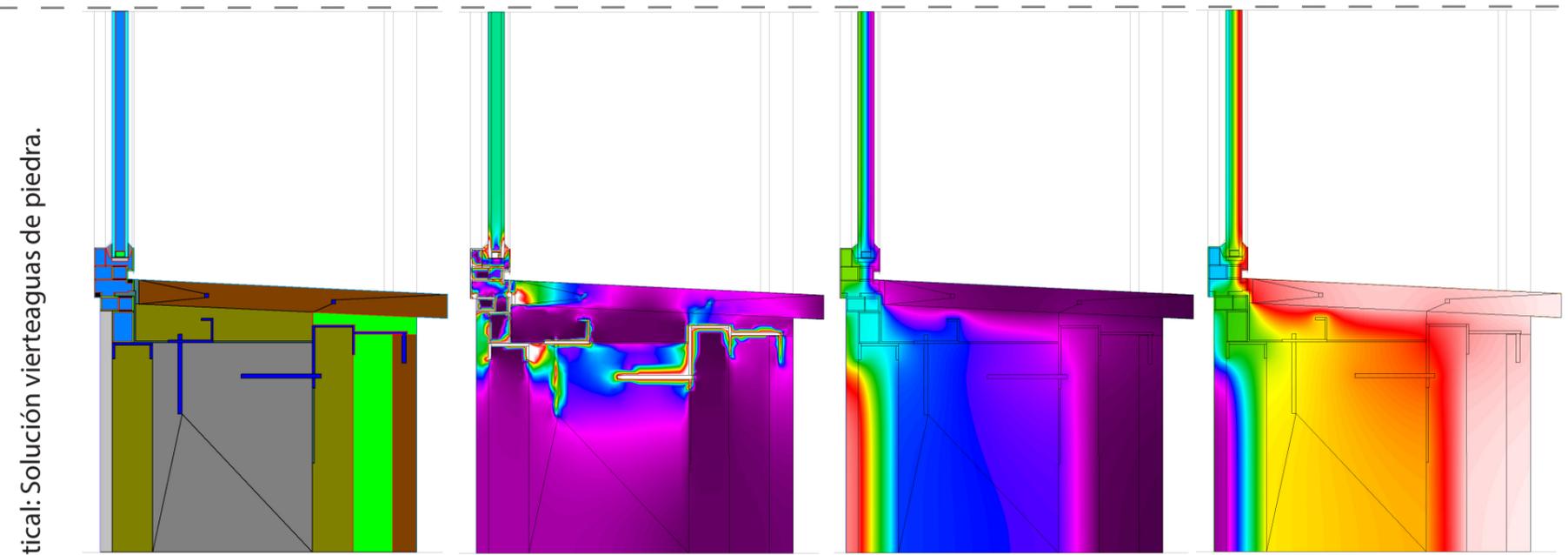


9.2.- LÁMINAS DE LAS SOLUCIONES PROPUESTAS PARA LOS PUENTES TÉRMICOS.

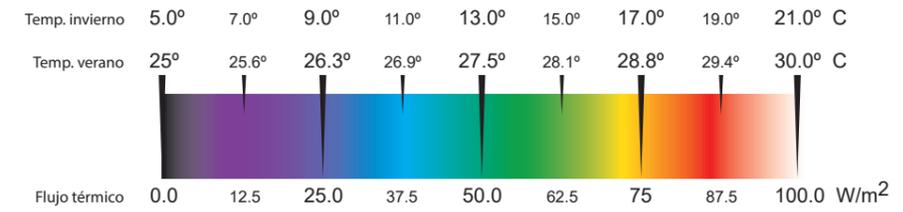
SOL1: Comparación entre pieza de vierteaguas de piedra natural y de Al-PE-Al (Aluminio)



Sección 1a-vi



Sección vertical: Solución vierteaguas de piedra.



Materiales

Flujo térmico

Temperatura Invierno

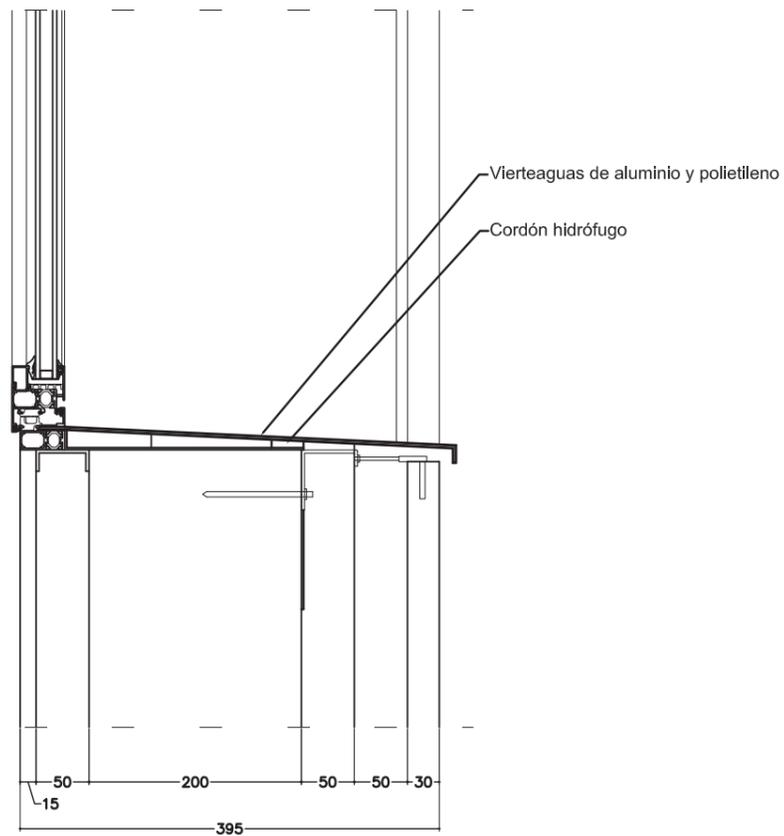
Temperatura Verano

Materiales

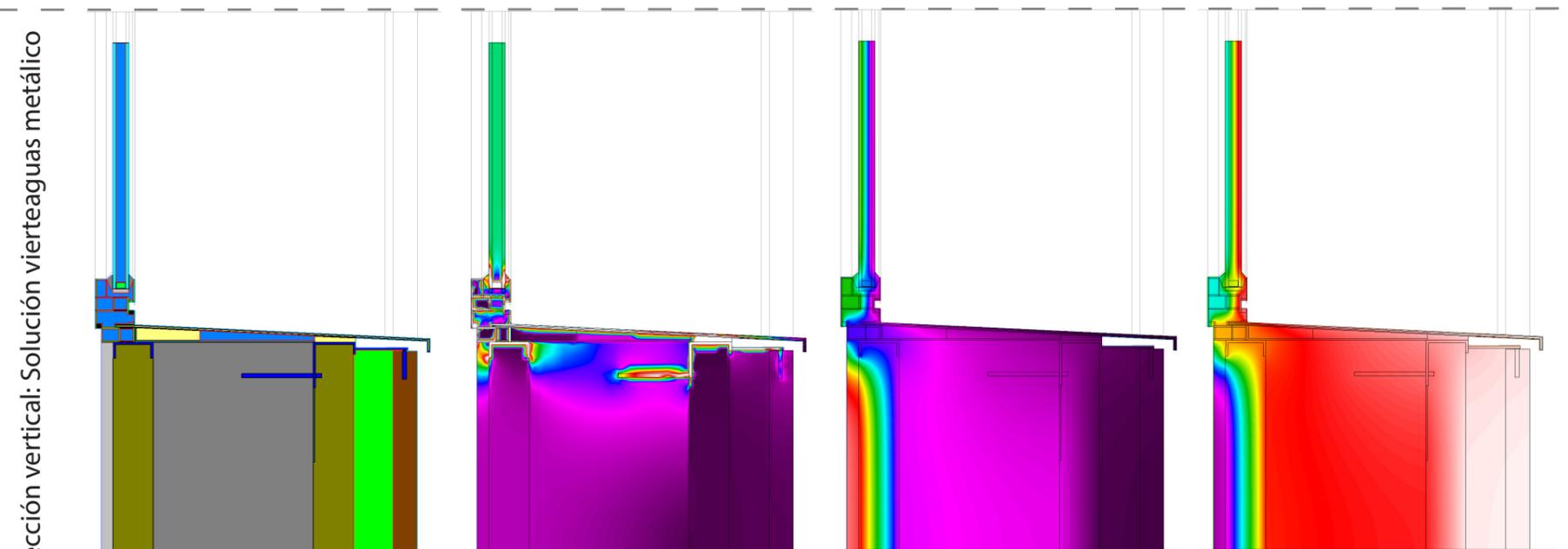
Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano



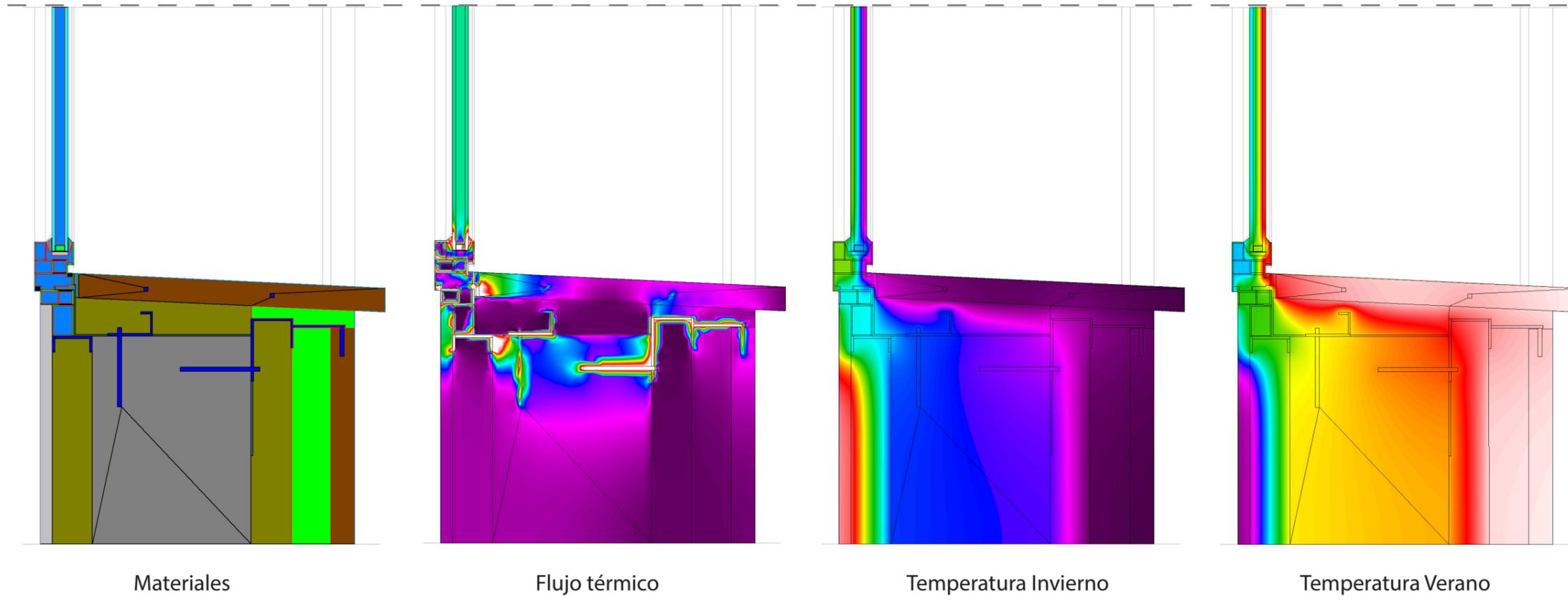
1c(bis)-vi



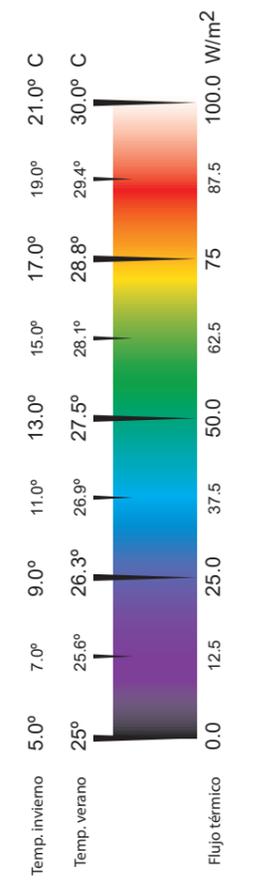
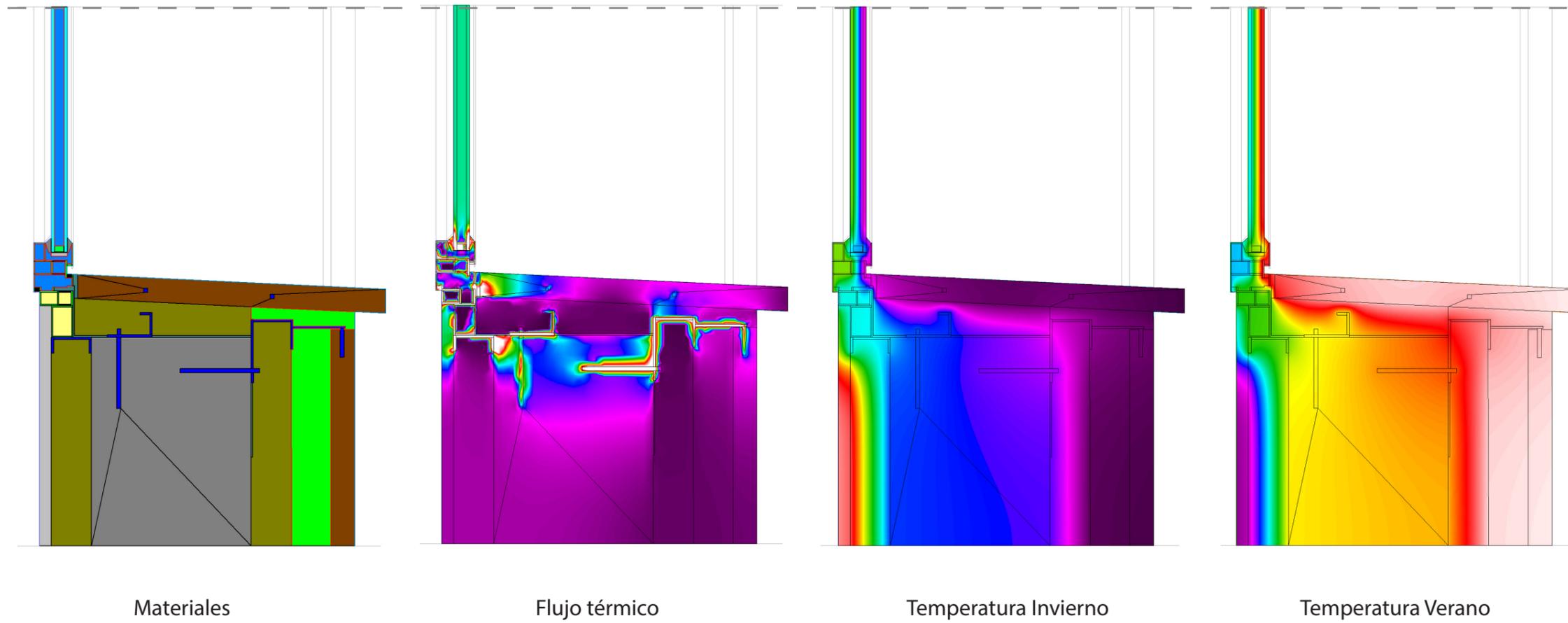
Sección vertical: Solución vierteaguas metálico

SOL2: Comparación entre premarco hueco y relleno de espuma de poliuretano.

Sección vertical: Premarco con cámara de aire no ventilada

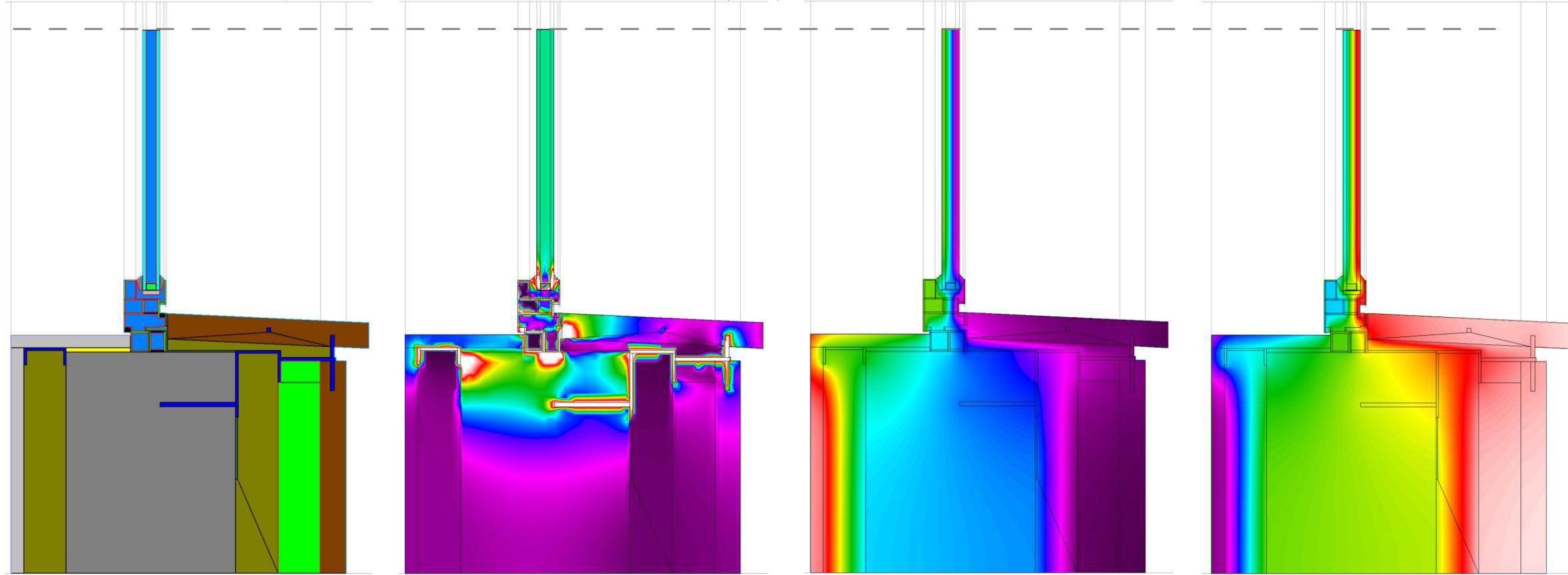


Sección vertical: Premarco relleno con PUR



SOL3: Comparación entre repisa interior con trasdosado directo de carton yeso y trasdosado con aislamiento de lana de roca.

Sección vertical: Repisa de carton yeso directo



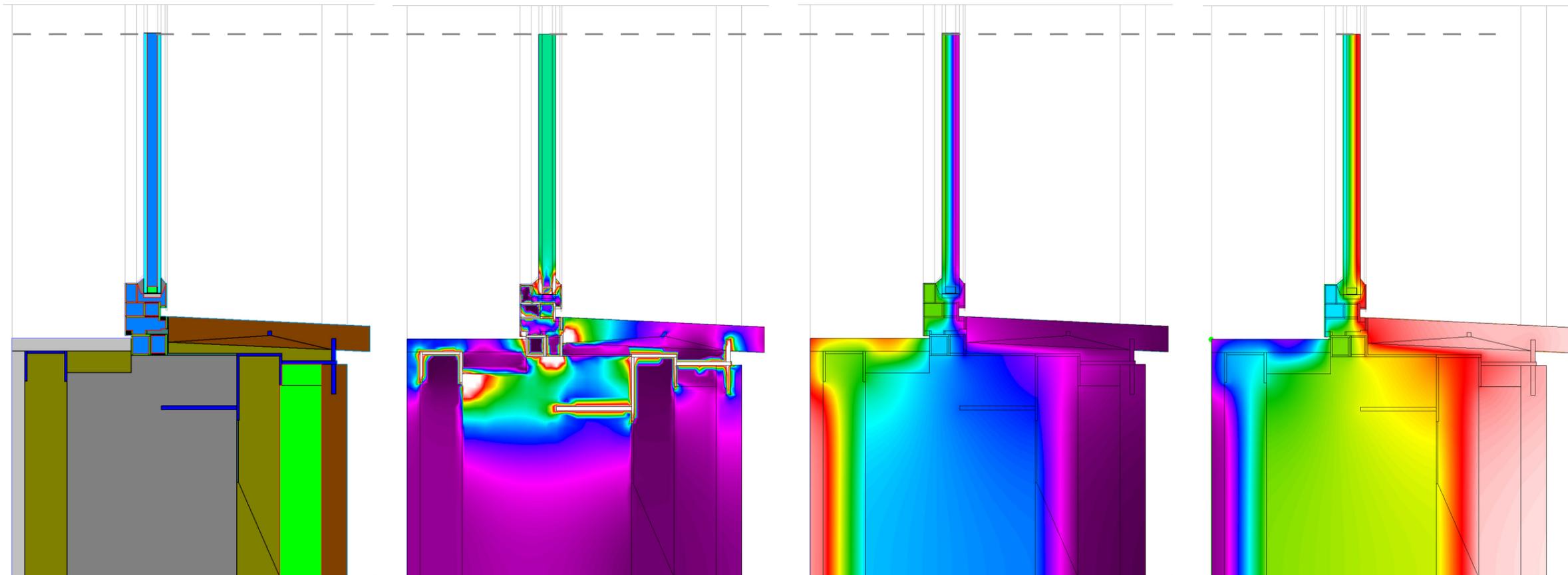
Materiales

Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano

Sección vertical: Repisa con aislamiento LR

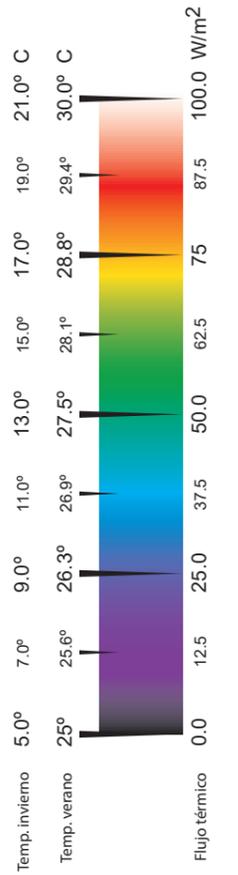


Materiales

Flujo térmico

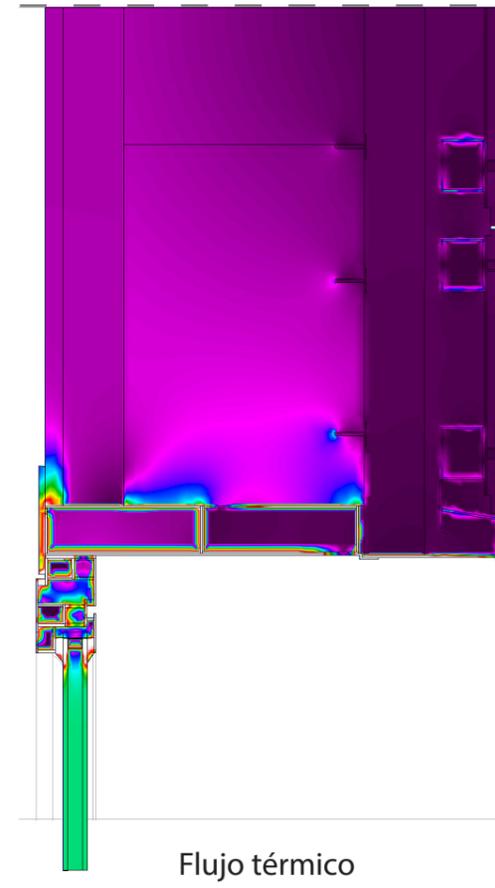
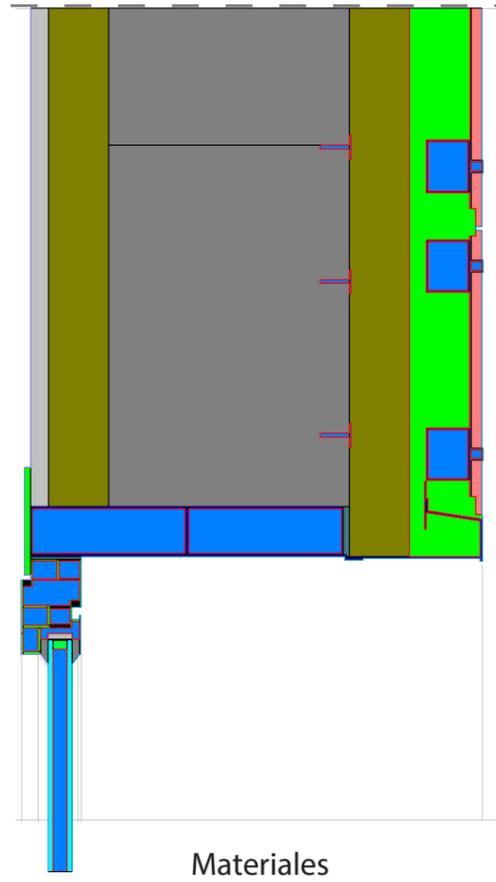
Temperatura Invierno

Temperatura Verano

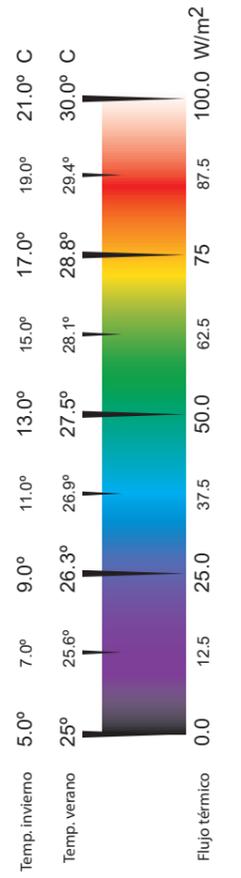
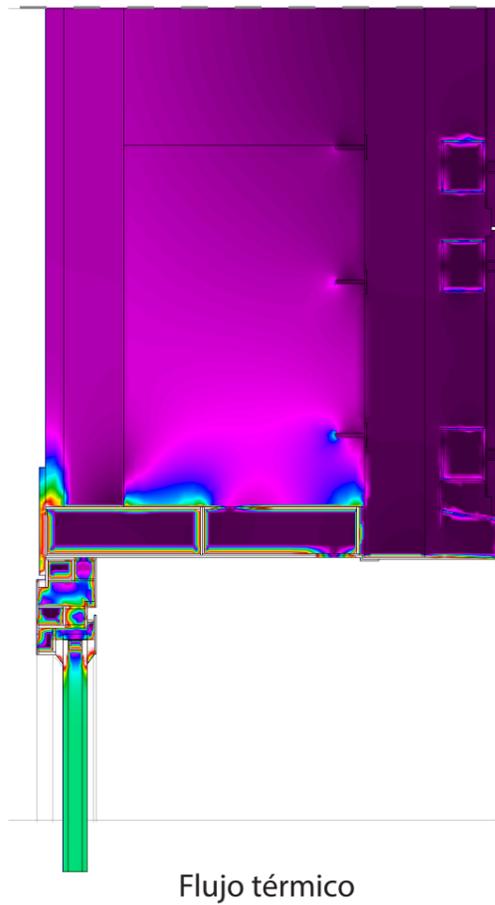
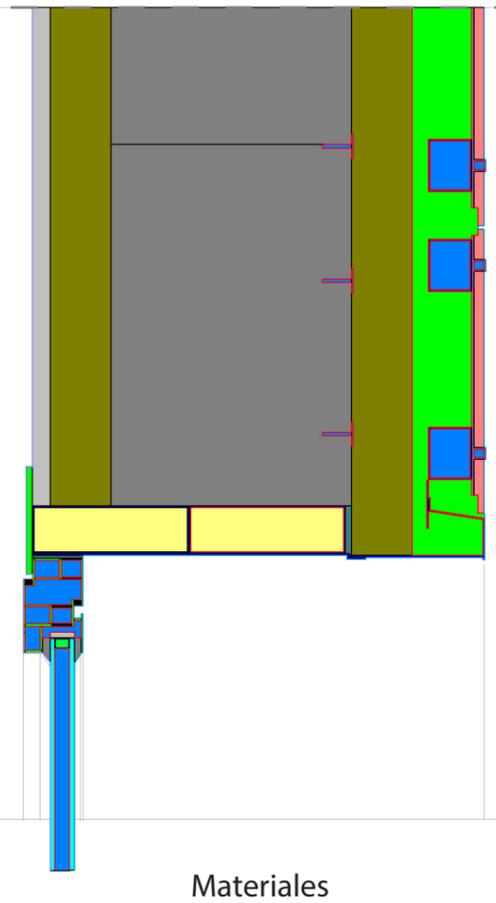


SOL4: Comparación entre perfil de dintel hueco y rellenos con espuma de poliuretano.

Sección vertical: Perfil del dintel hueco

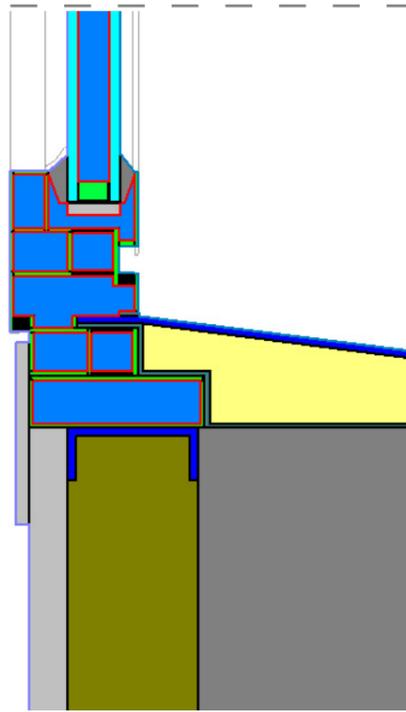


Sección vertical: Perfil del dintel relleno con PUR

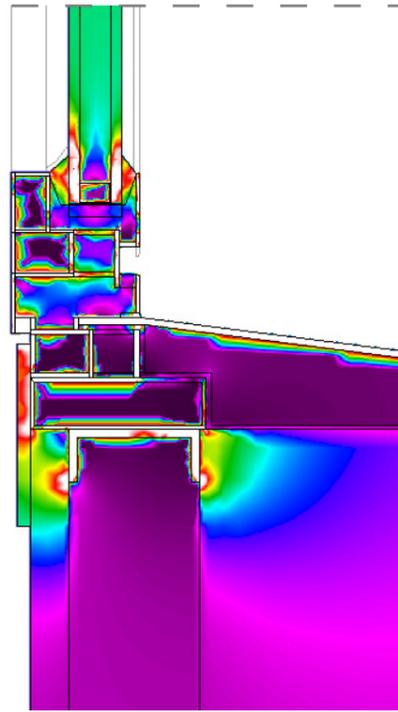


SOL5: Comparación entre tapajuntas de carton yeso y de madera

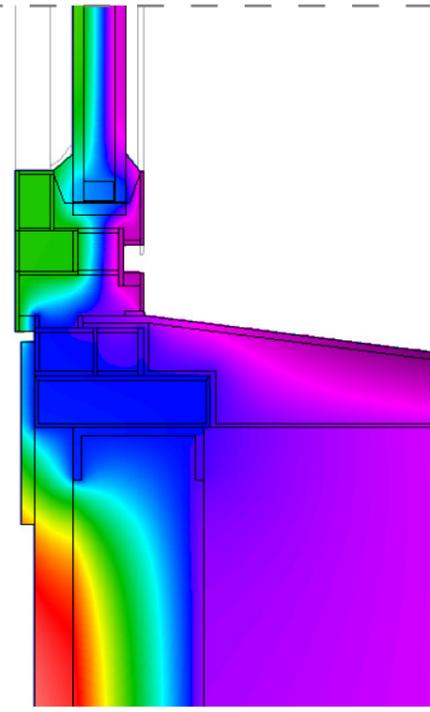
Sección vertical: Tapajuntas de carton yeso



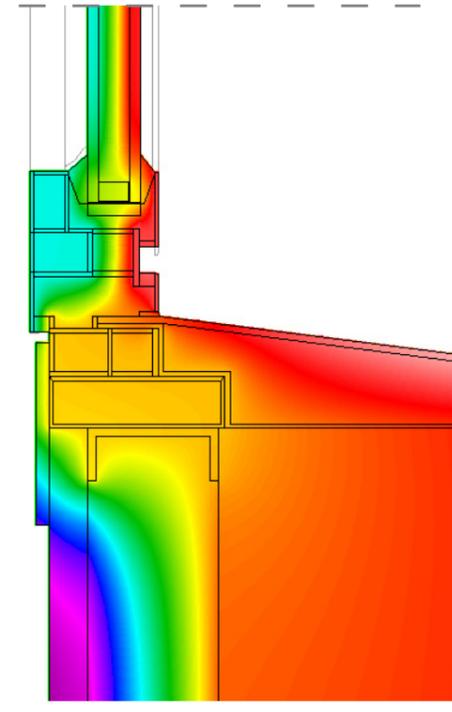
Materiales



Flujo térmico

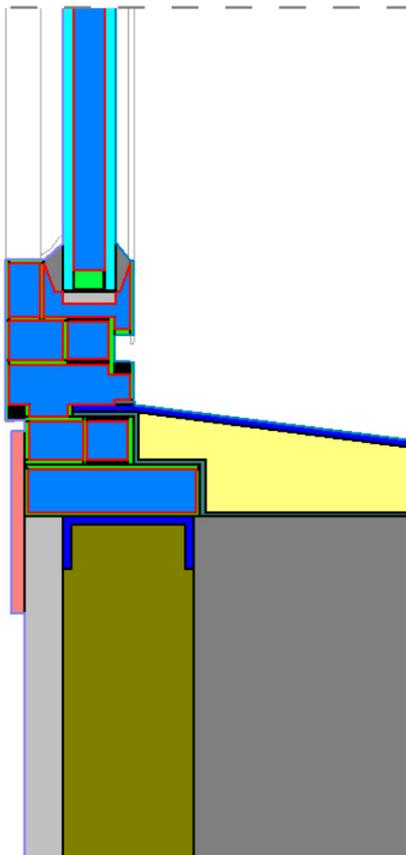


Temperatura Invierno

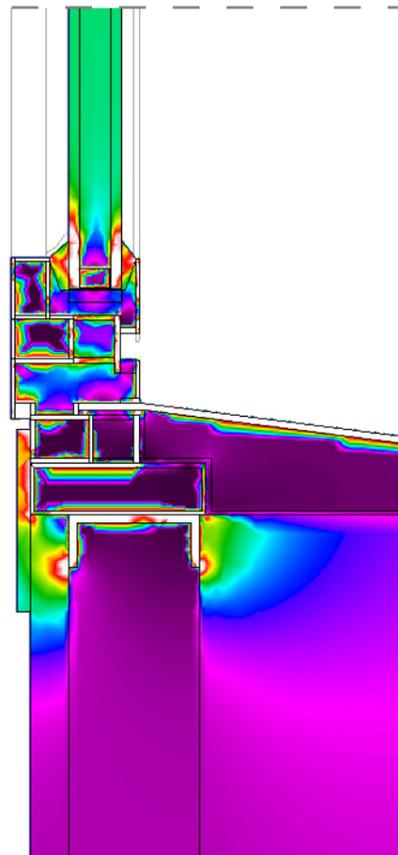


Temperatura Verano

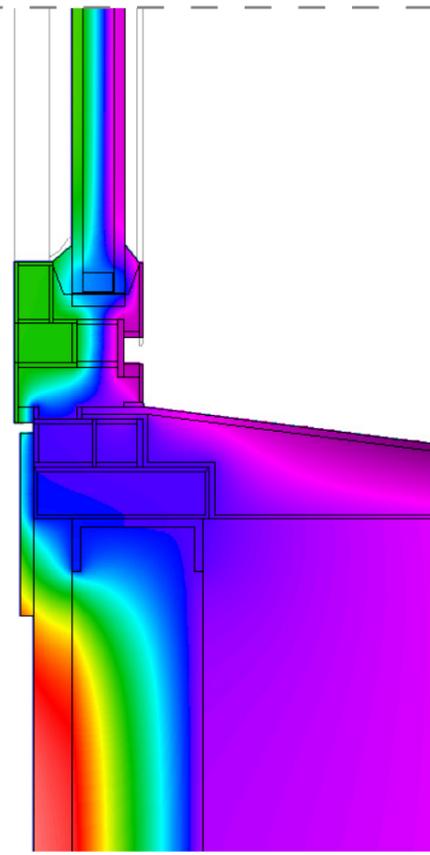
Sección vertical: Tapajuntas de madera de pino



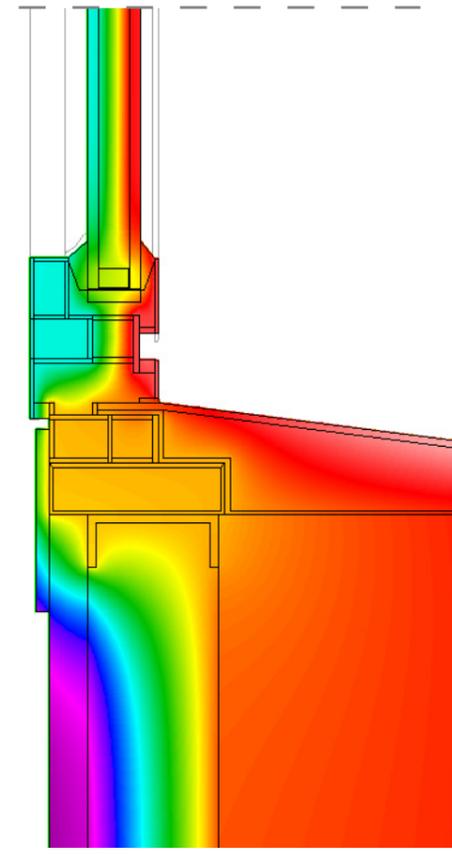
Materiales



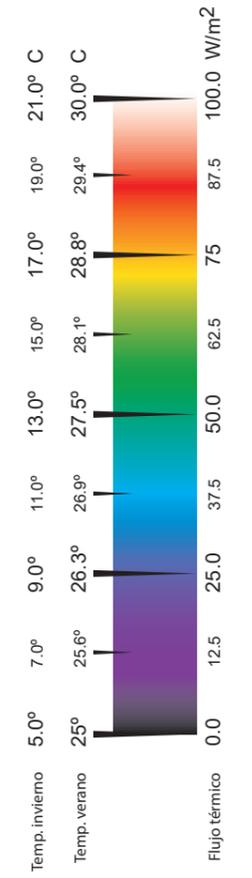
Flujo térmico



Temperatura Invierno

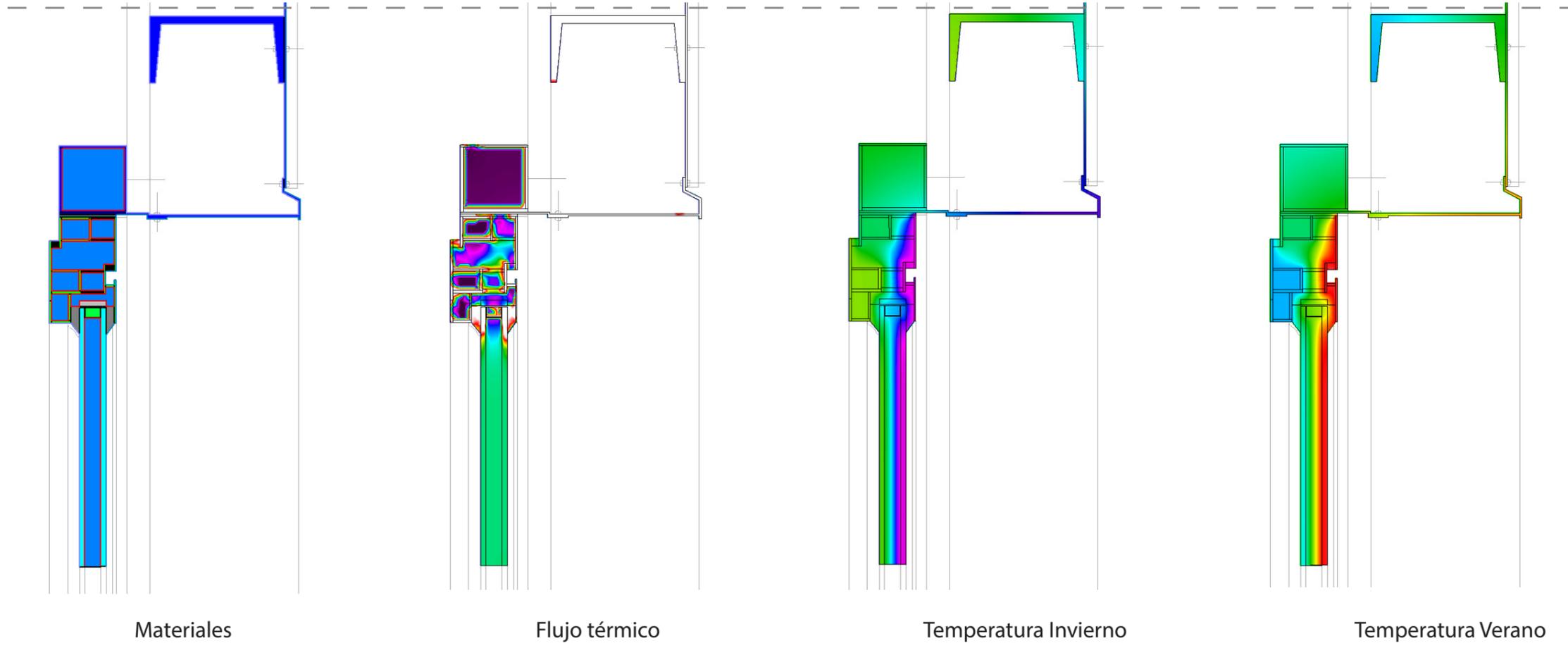


Temperatura Verano

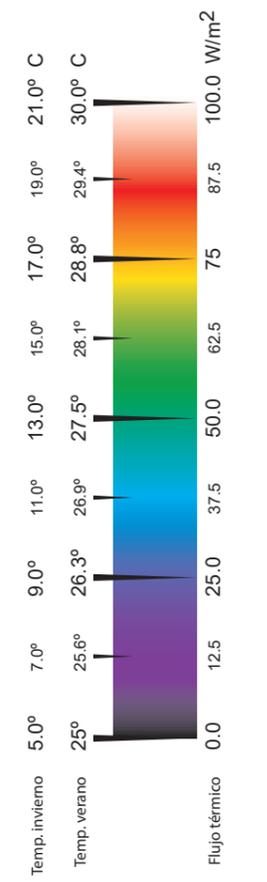
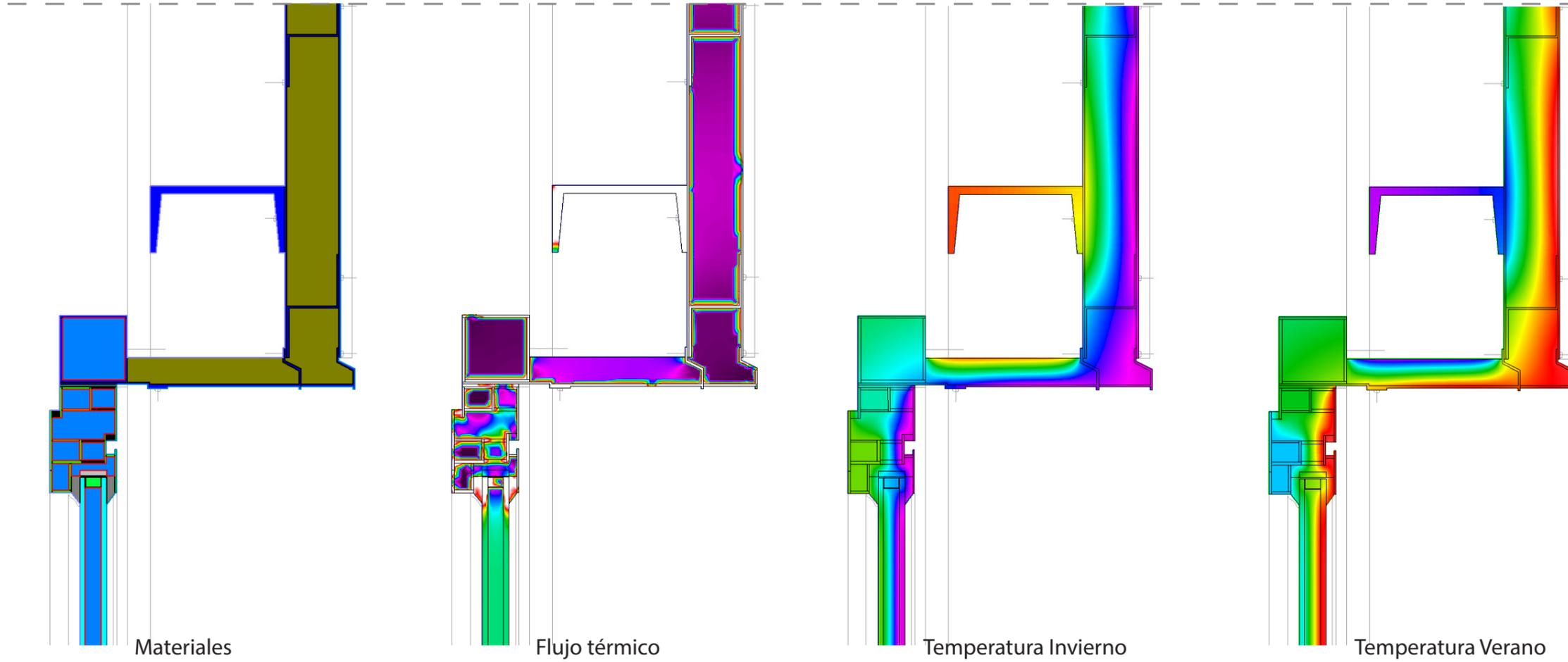


SOL6: Cerramiento de placas de acero plegado. en espacio no habitable. Adaptación mediante "sandwich" de lana de roca.

Sección vertical: Cerramiento de chapa plegada

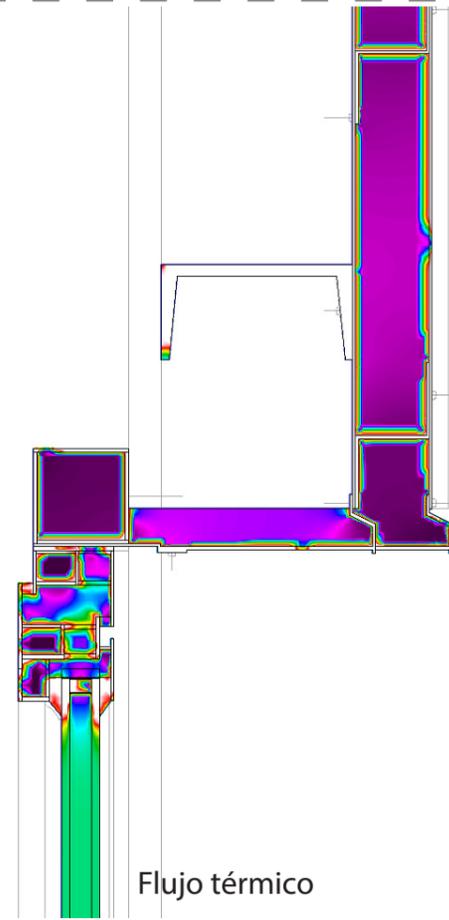
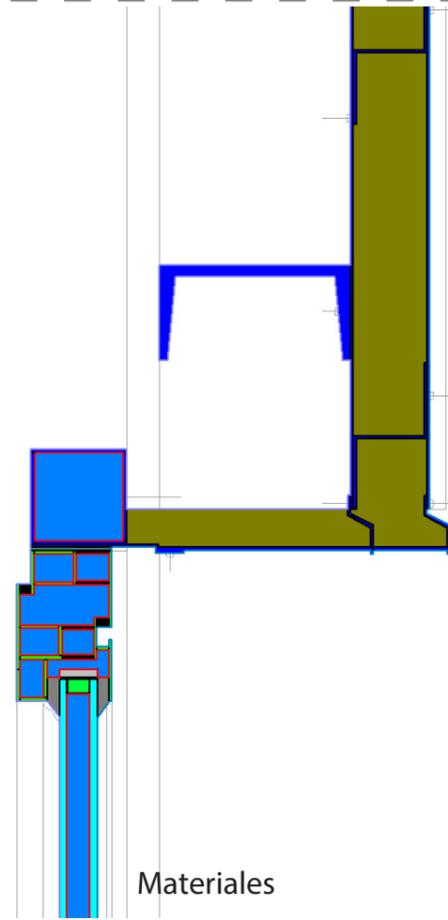


Sección vertical: Doblado de chapa plegada con aislante LR

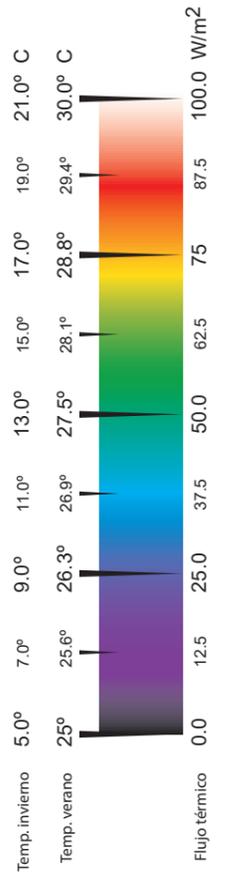
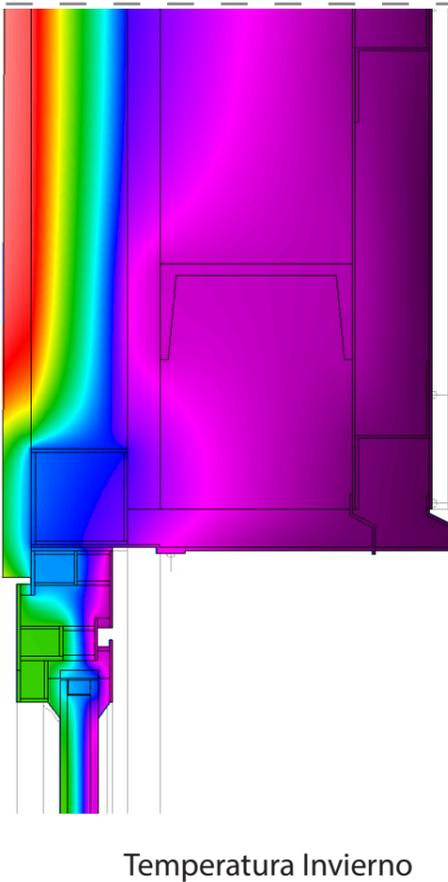
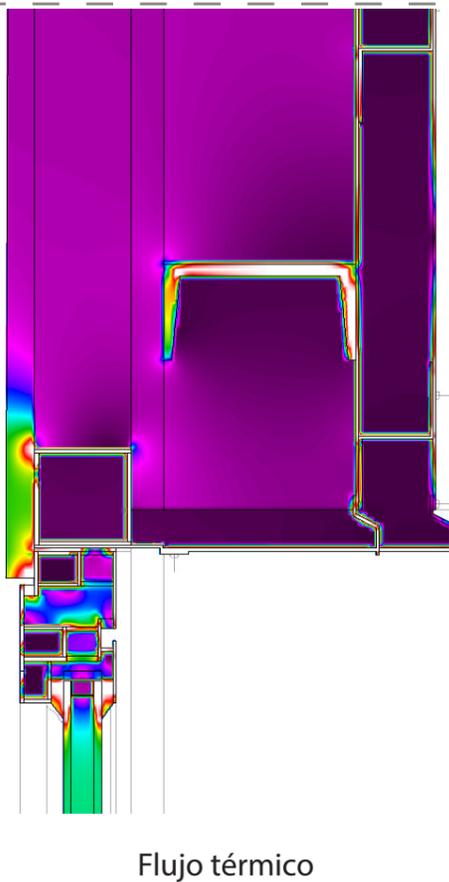
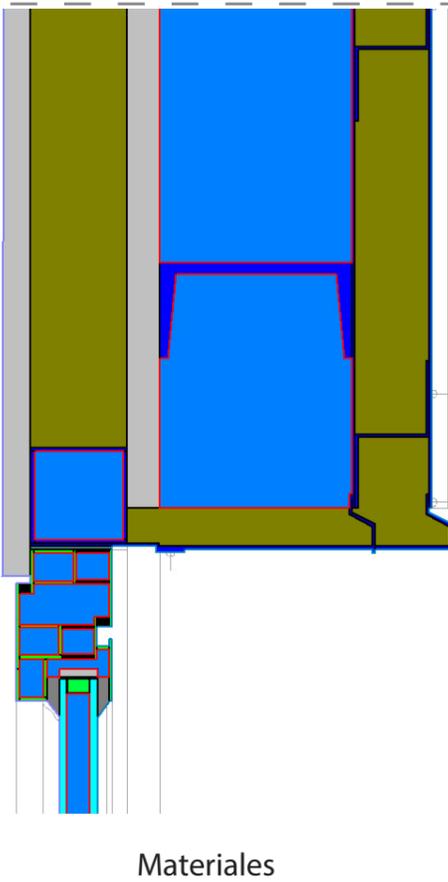


SOL7: Trasdoso mediante placas de cartón yeso y aislante térmico de lana de roca

Sección vertical: Cerramiento tipo "sandwich"

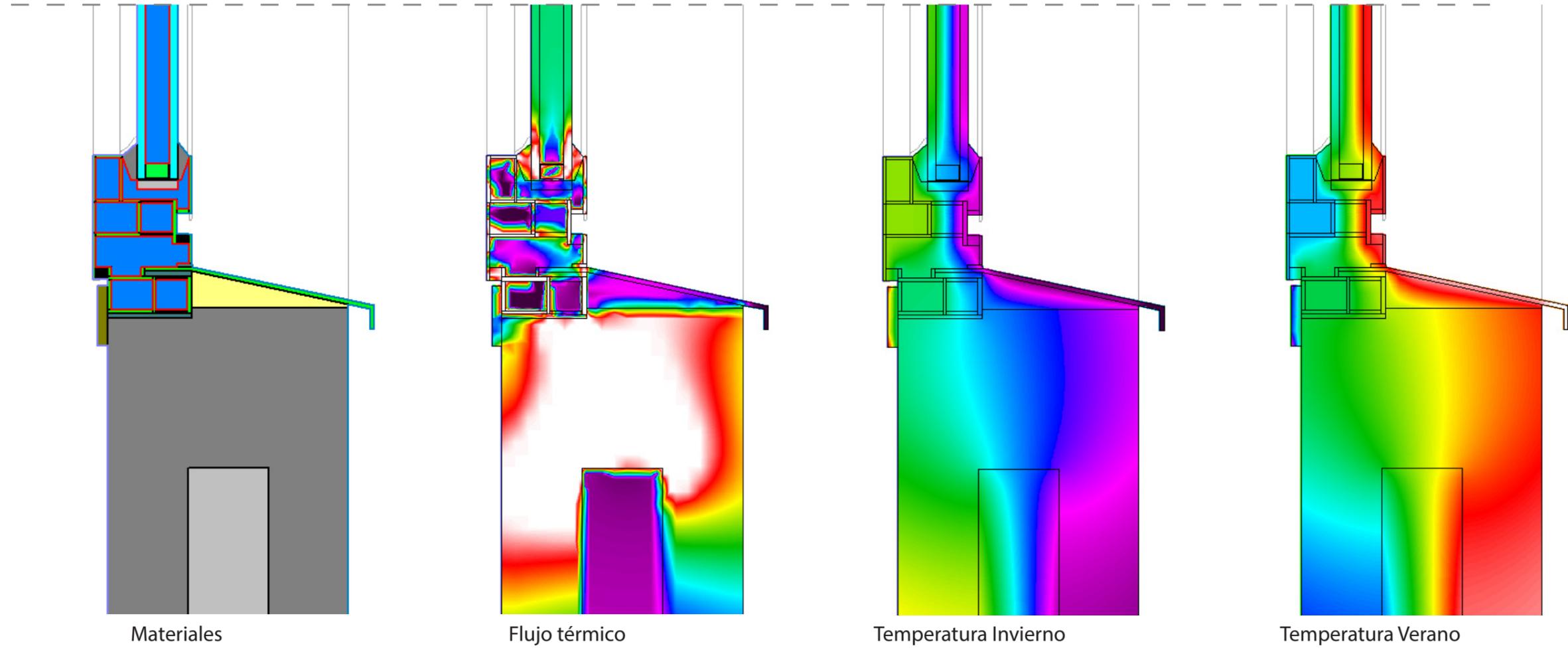


Sección vertical: Trasdoso con placas de cartón yeso y LR

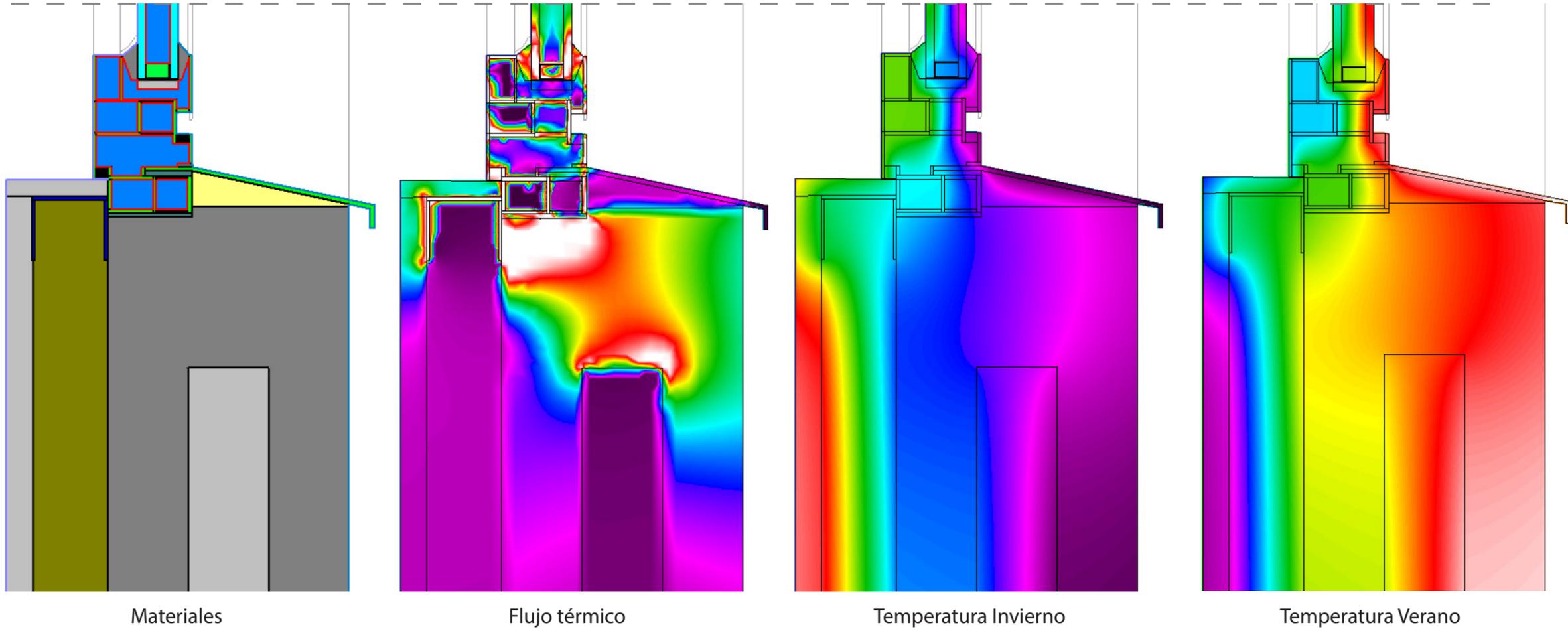


SOL8: Comparación entre cerramiento de muro de hormigón prefabricado y su solución trasdosada con placas de cartón yeso y aislamiento de LR

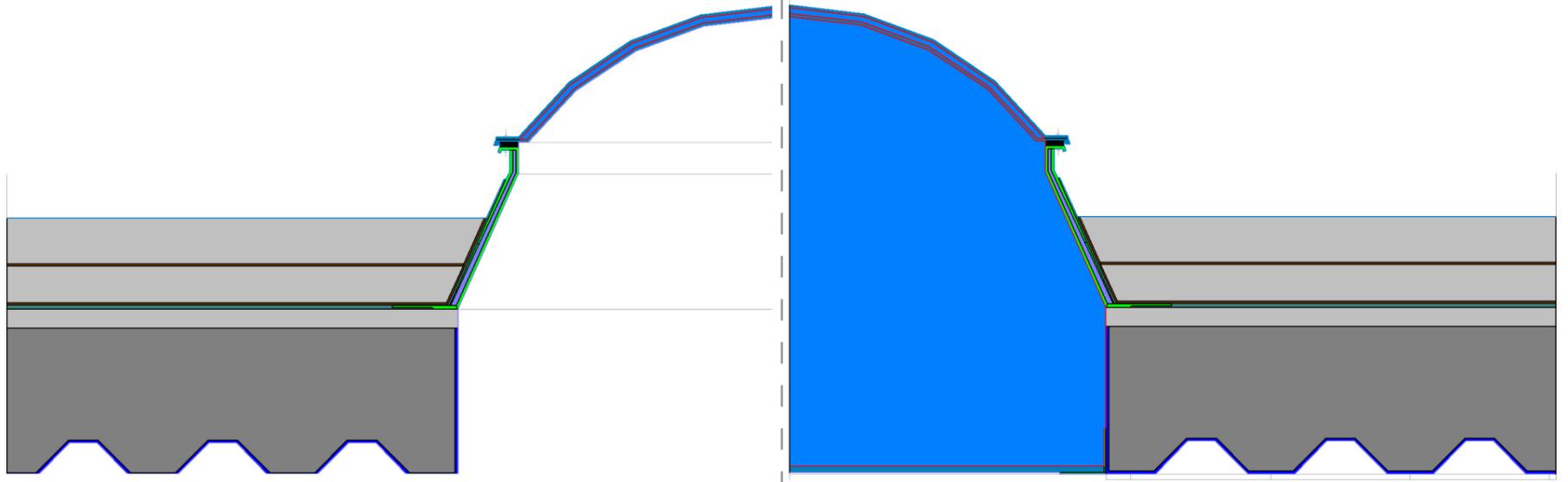
Sección vertical: Cerramiento tipo "sandwich"



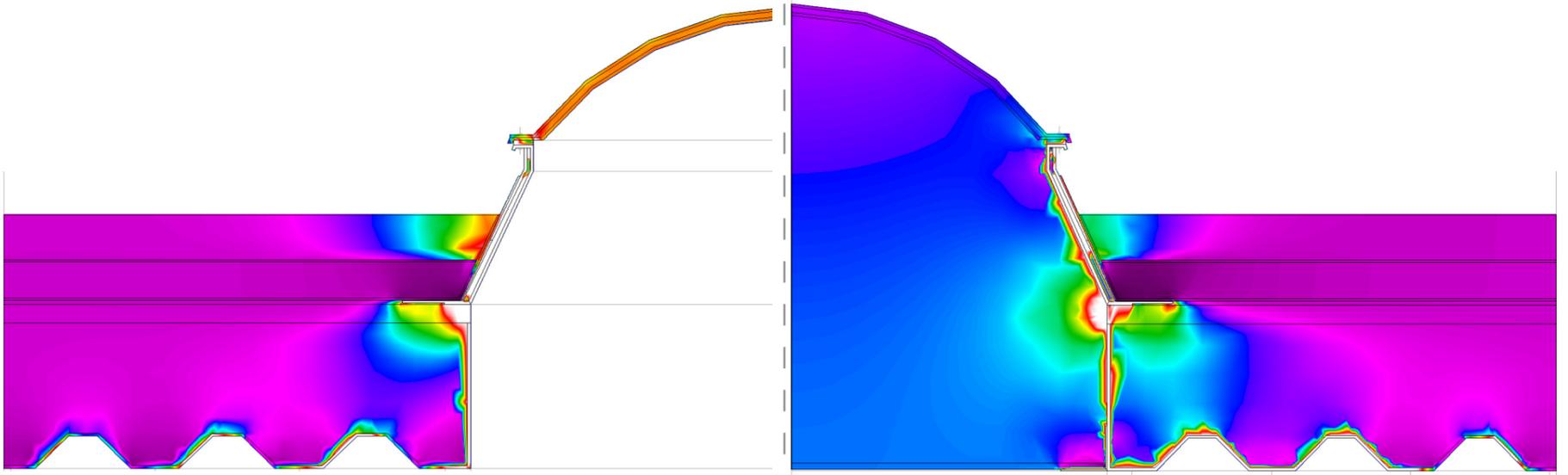
Sección vertical: Trasdoso con placas de cartón yeso y LR



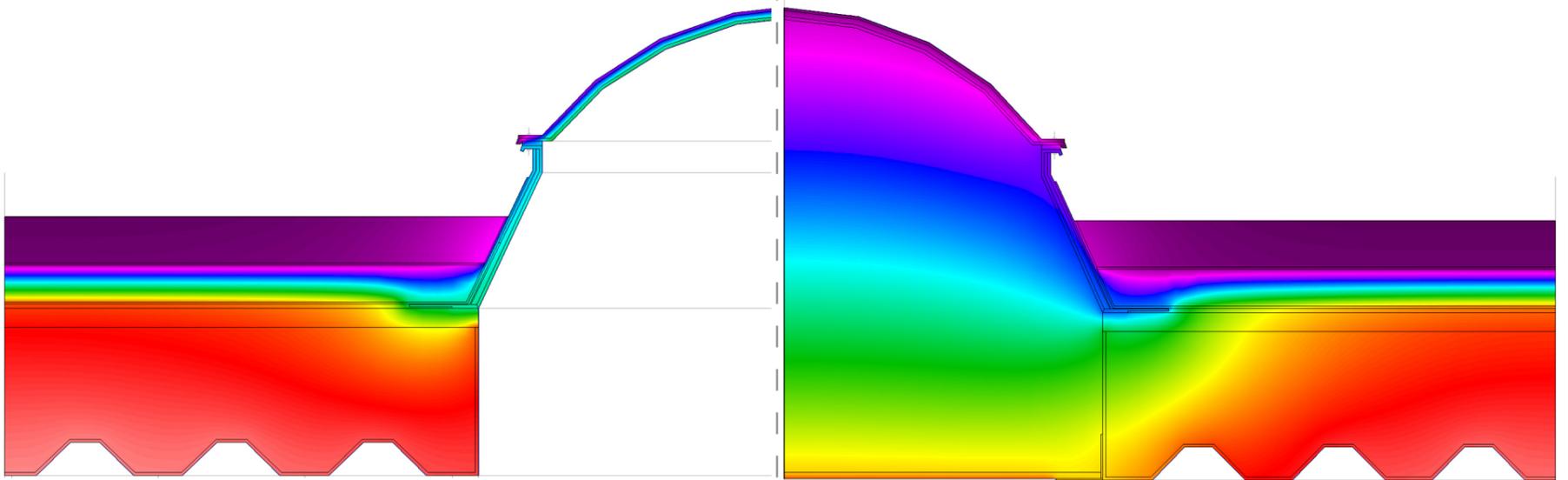
SOL9: Claraboya en cubierta invertida. Creación de cámara no ventilada



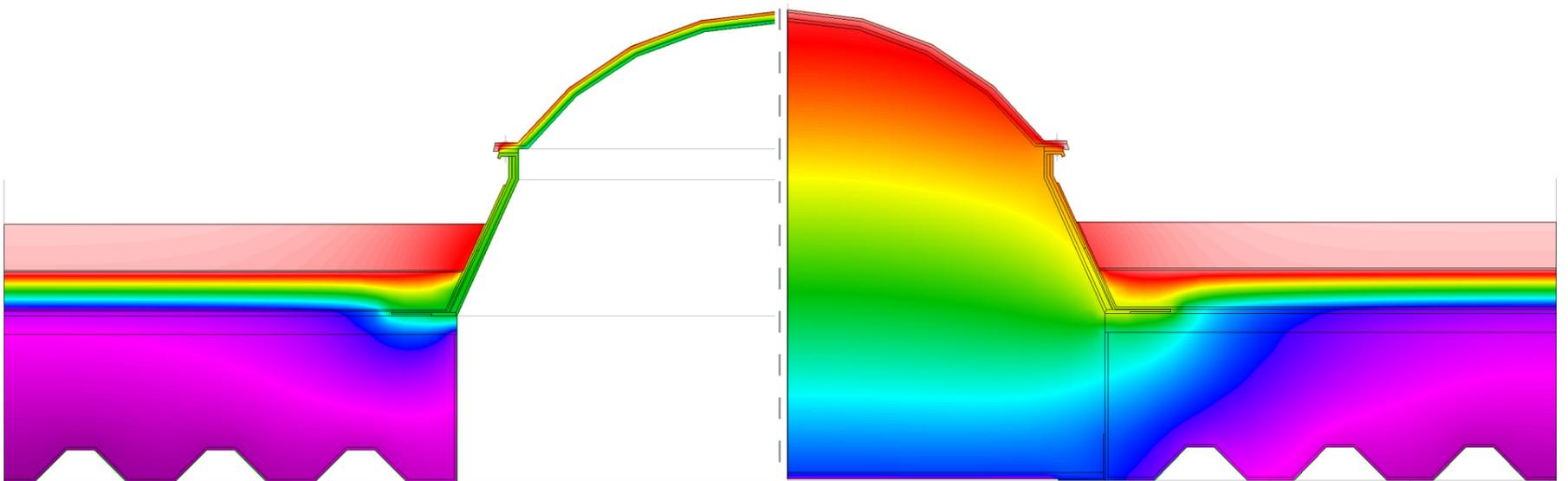
Materiales



Flujo térmico



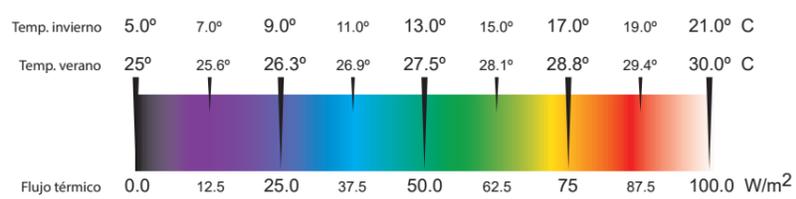
Temperatura Invierno



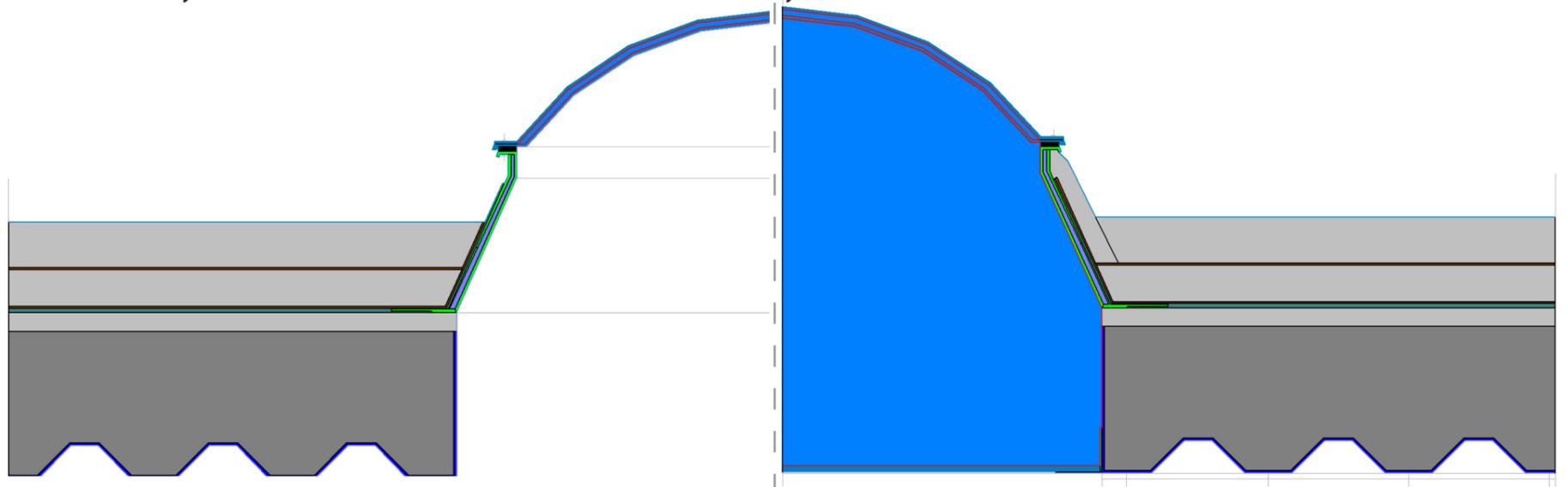
Temperatura Verano

Sección vertical: Claraboya

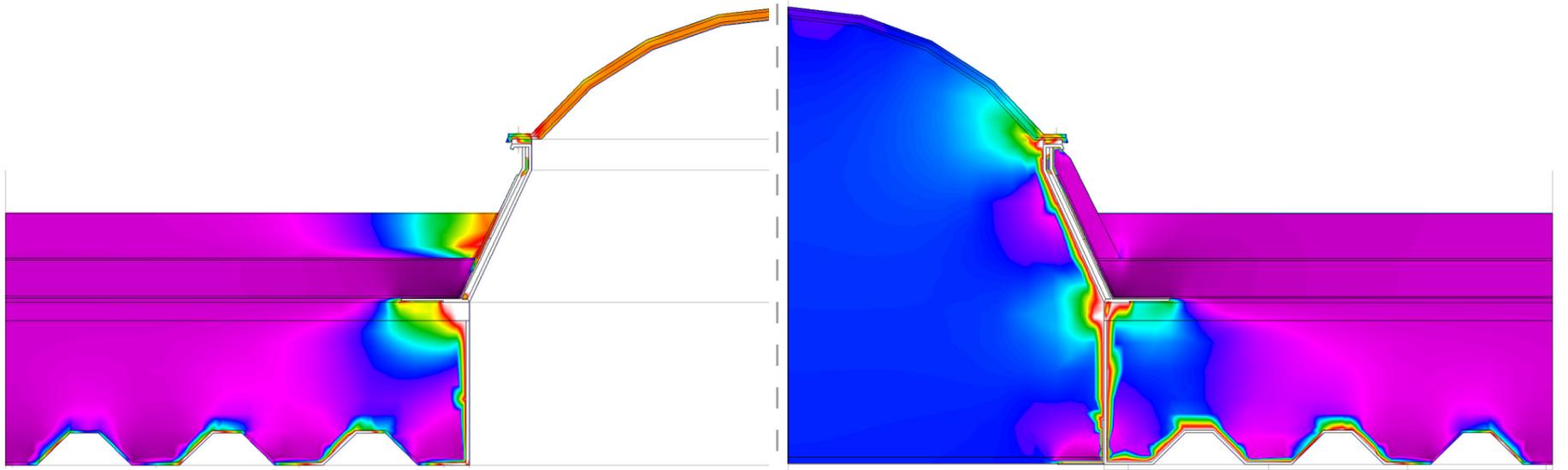
Sección vertical: Claraboya con cámara



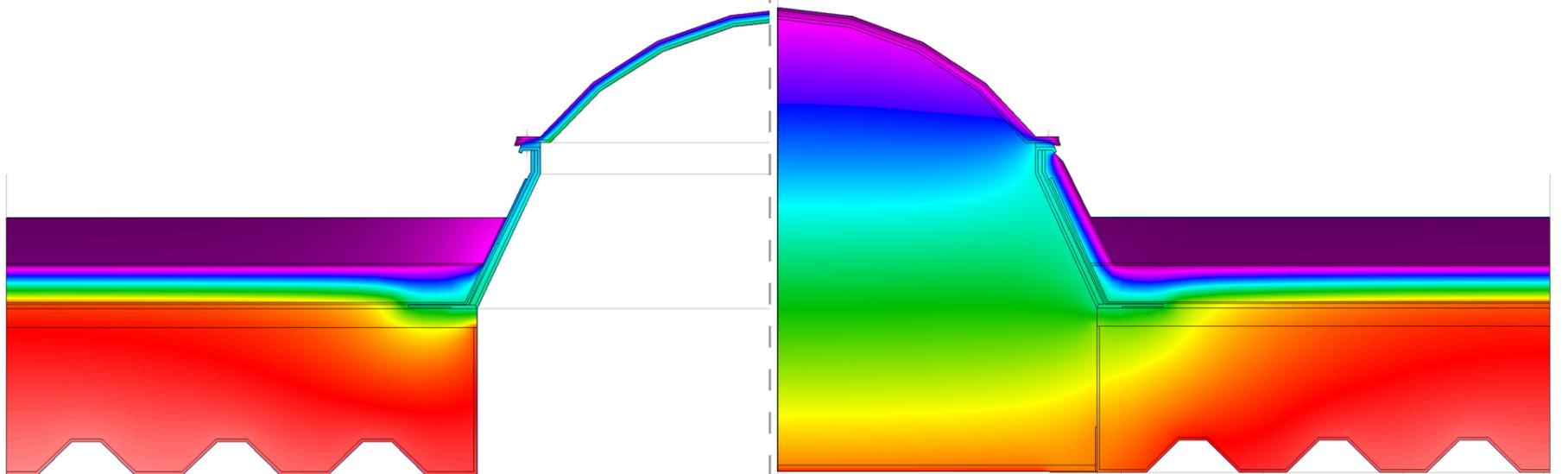
SOL10: Claraboya de marco de aluminio vs aislamiento con XPS y cámara no ventilada.



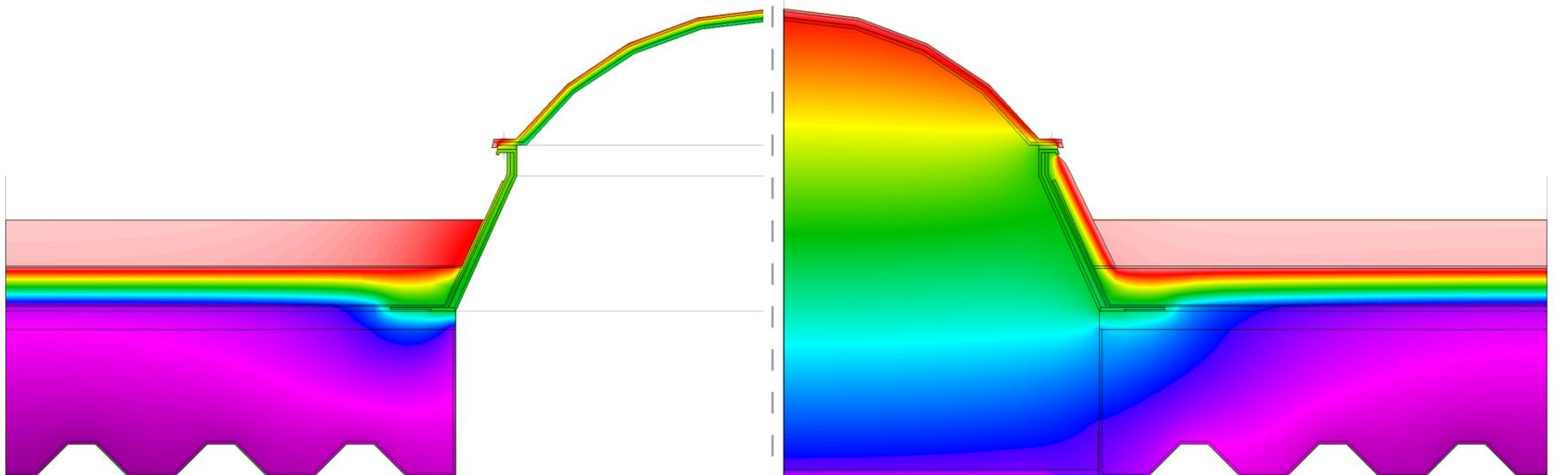
Materiales



Flujo térmico



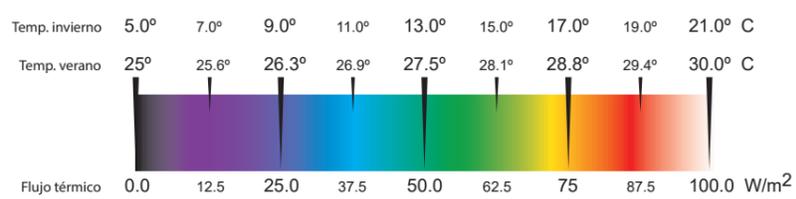
Temperatura Invierno



Temperatura Verano

Sección vertical: Claraboya

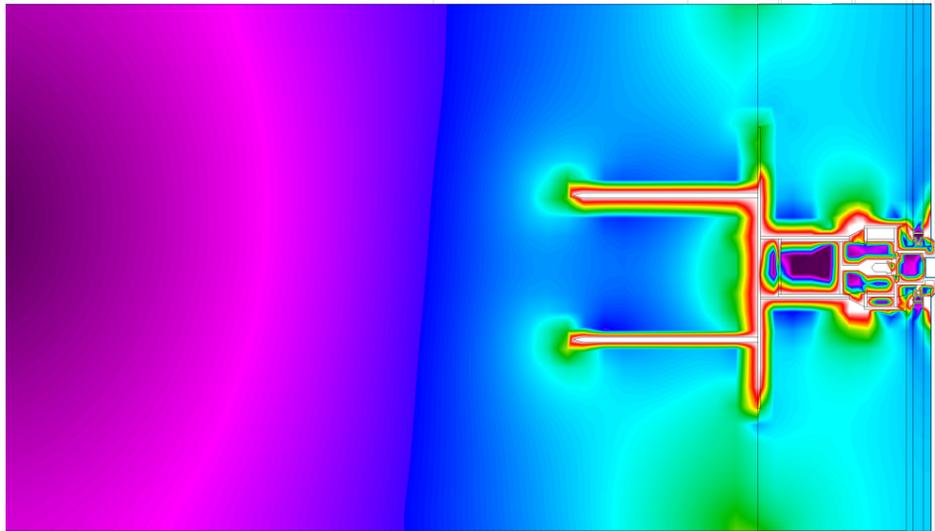
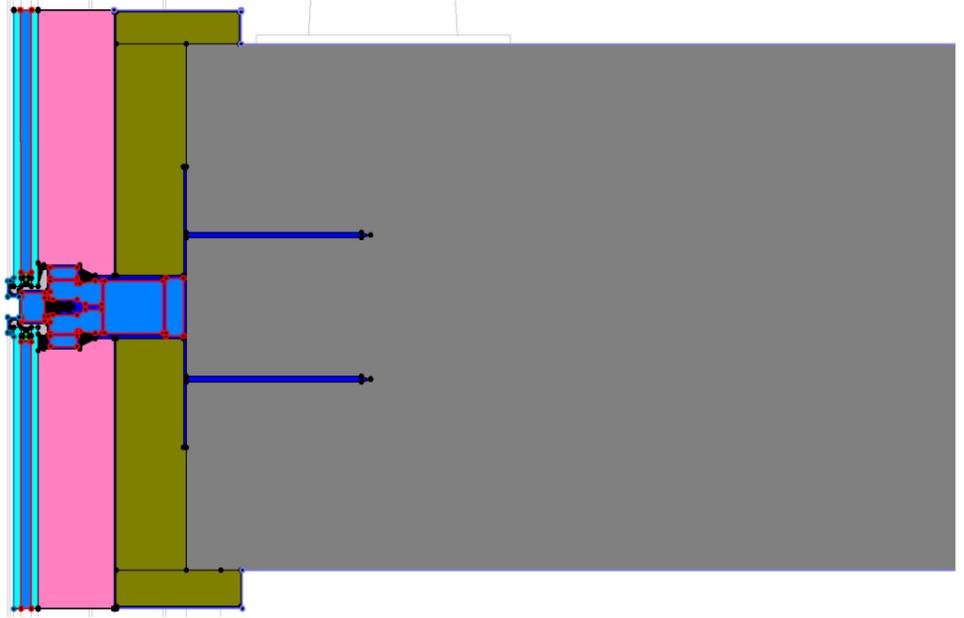
Sección vertical: Claraboya con cámara y aislamiento XPS en marco



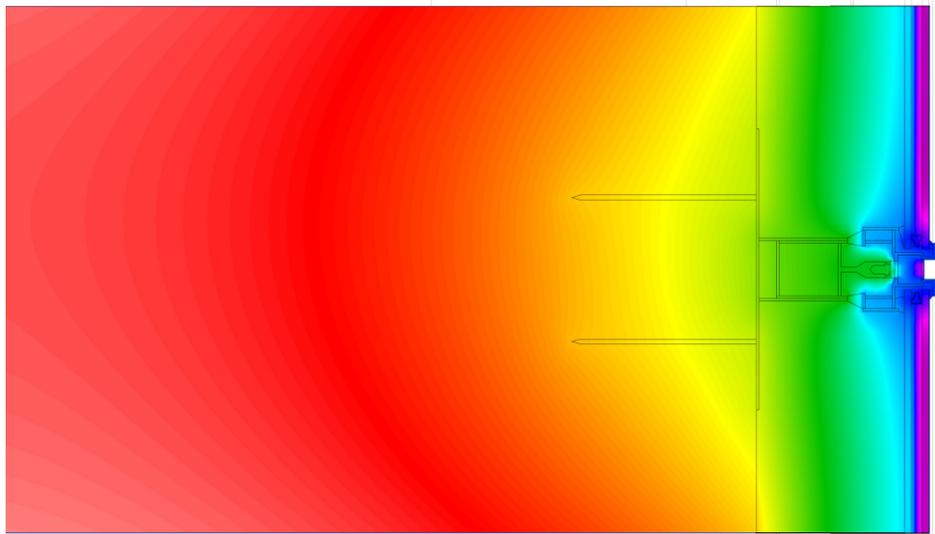
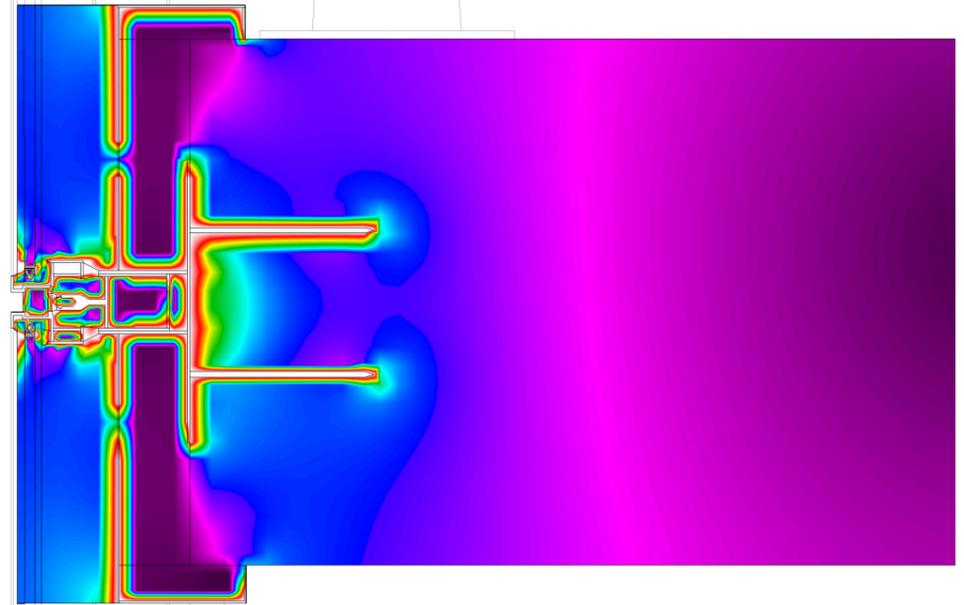
SOL11: Comparación entre muro cortina y su anclaje al forjado sin aislante y con aislante térmico de LR.



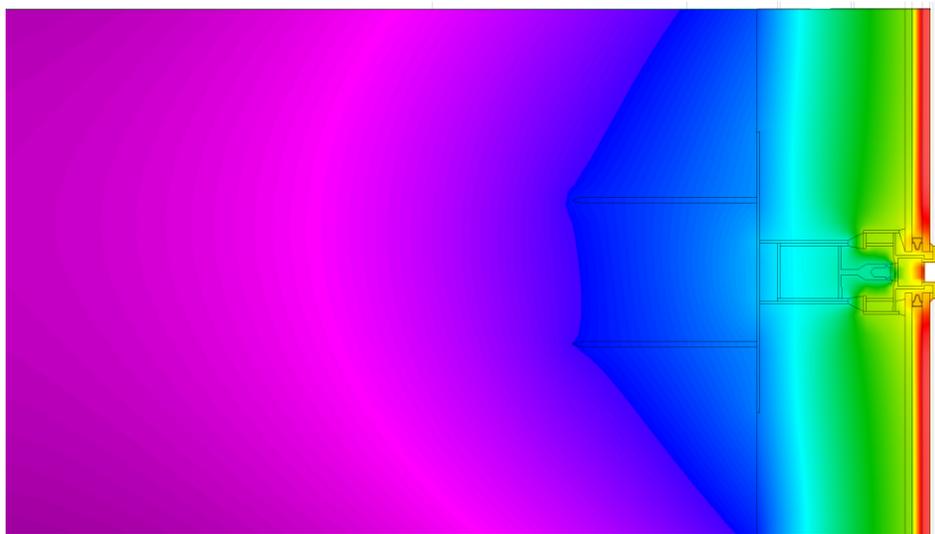
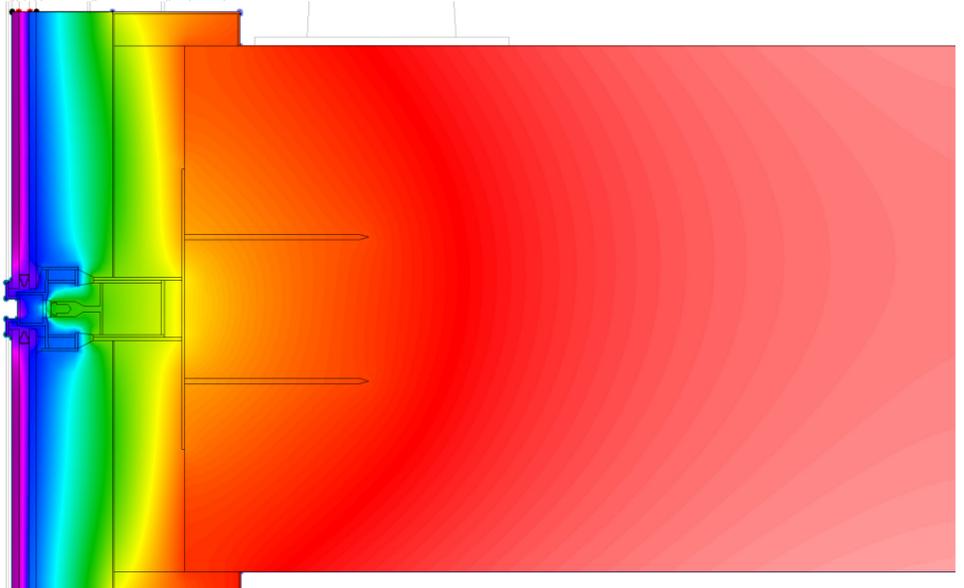
Materiales



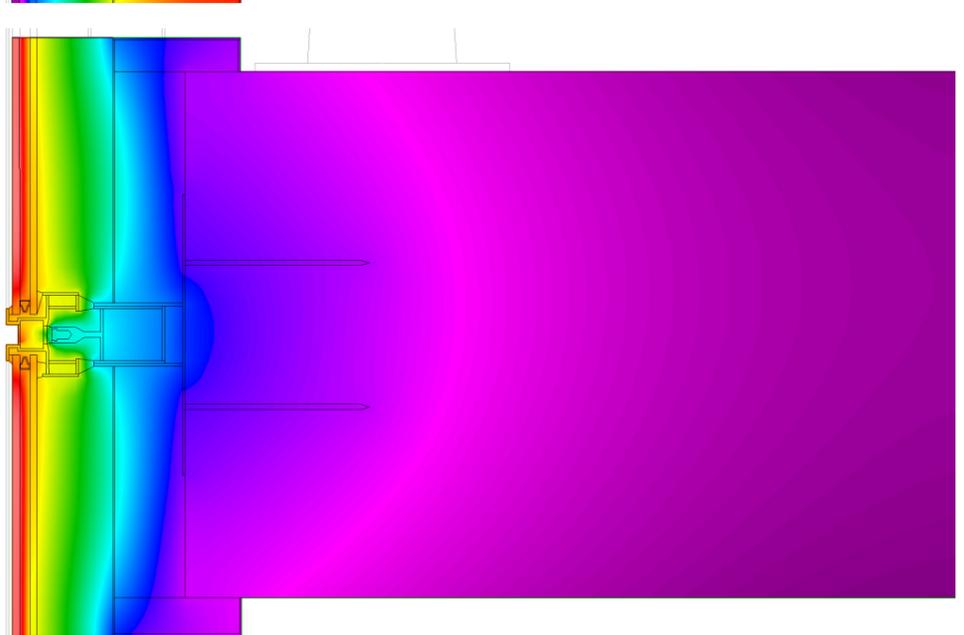
Flujo térmico



Temperatura Invierno

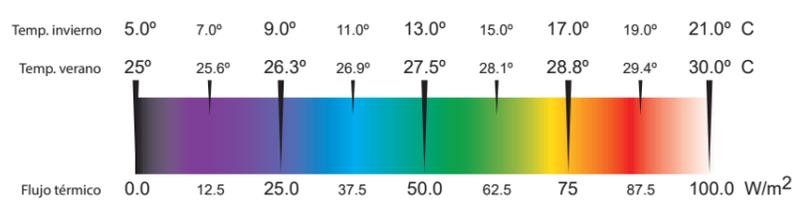


Temperatura Verano

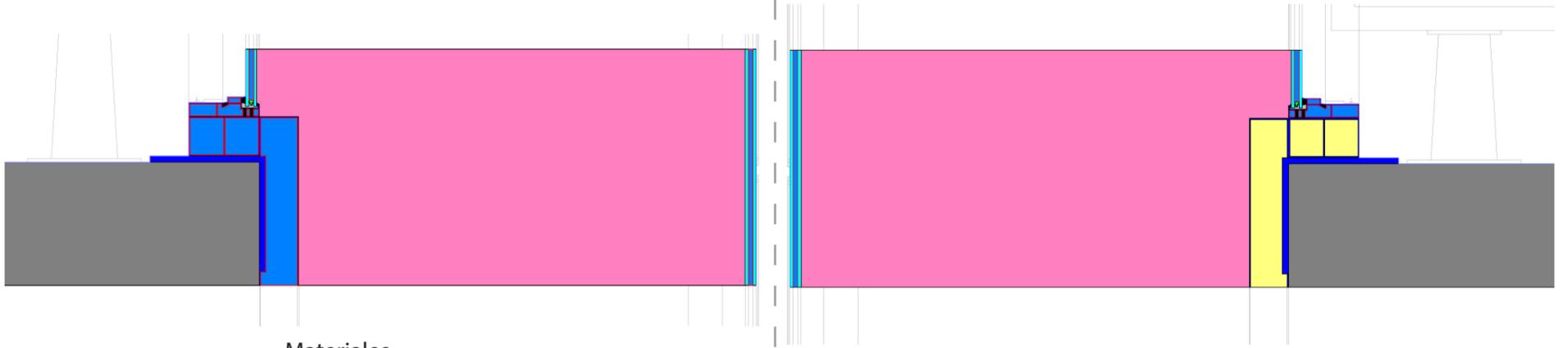


Sección vertical: Anclaje al forjado sin proteger

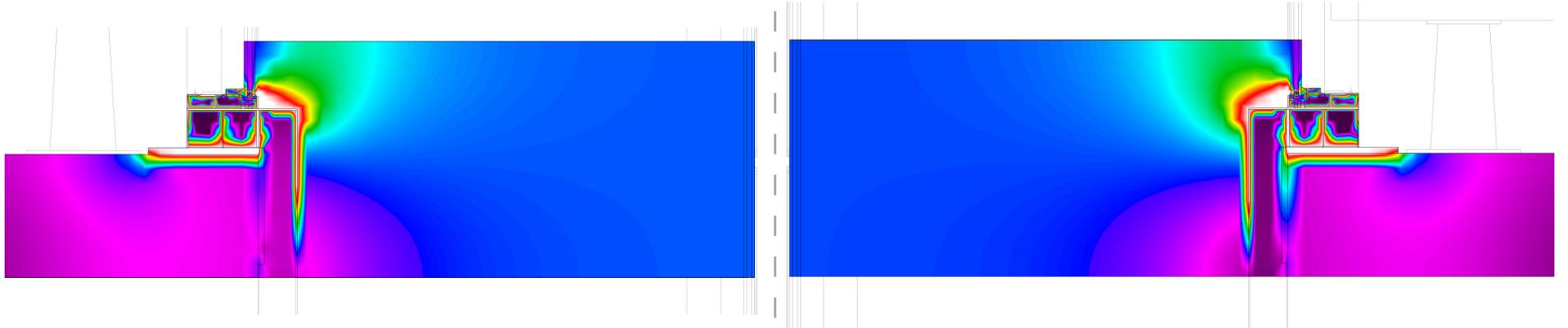
Sección vertical: Canto del forjado con tapa y aislante LR



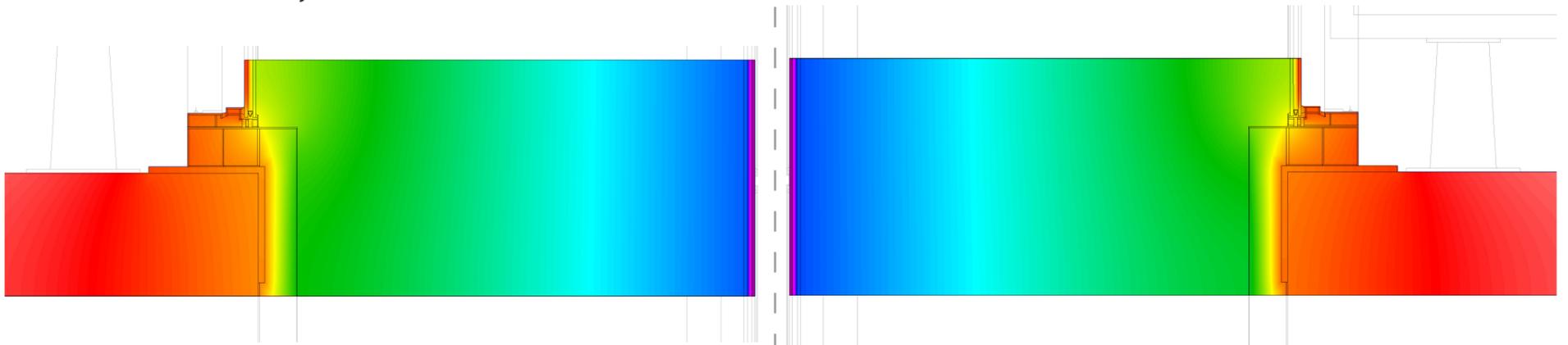
SOL12: Cerramiento con muro de fachada de vidrio, cámara y muro cortina. Protección del canto del forjado con PUR



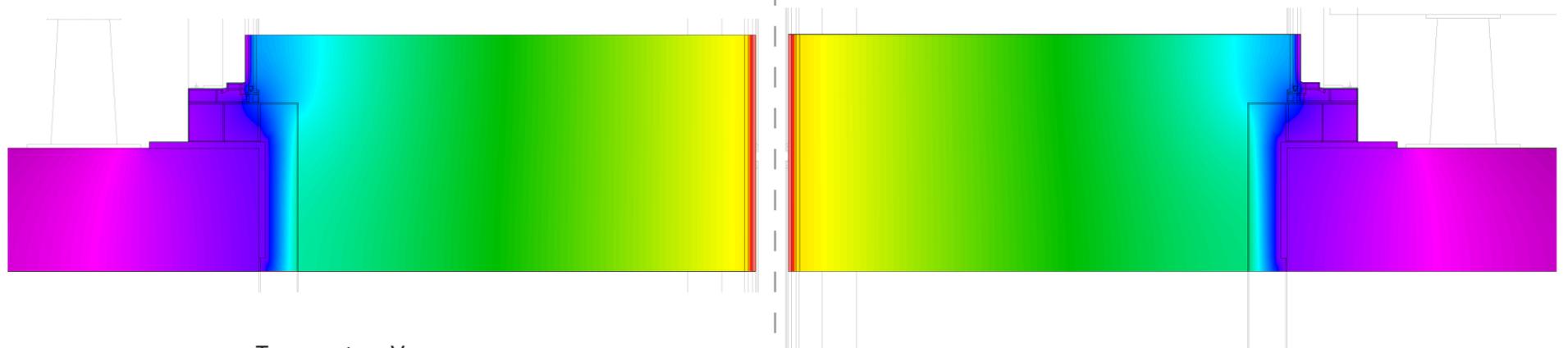
Materiales



Flujo térmico



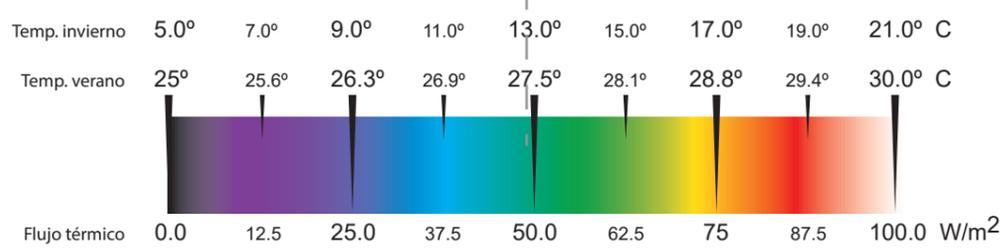
Temperatura Invierno



Temperatura Verano

Sección vertical: Canto del forjado con tapa hueca

Sección vertical: Canto del forjado con tapa rellena de PUR



9.3.- LISTADO DE MATERIALES Y SUS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS.

Material	Conductividad λ (W/m ² K)	Emisividad ϵ
Cerámicos		
Ladrillo macizo	0,85	0,93
Ladrillo caravista	0,35	0,93
Ladrillo hueco	0,32	0,93
Aglomerantes		
Mortero de cemento albañilería	0,7	0,7
Mortero de aridos ligeros	0,41	0,9
Mortero de yeso	0,8	0,9
Hormigon estructural para armar	2,4	0,9
Hormigón con aridos ligeros	1,25	0,9
Hormigón con arcilla expandida	0,5	0,9
Hormigón en masa	1,65	0,5
Metales		
Acero	50	0,4
Hierro galvanizado	70	0,075
Aluminio anodizado	209	0,4
Bituminosos - Poliméricos		
Neopreno (juntas)	0,23	0,9
Goma de Butilo	0,24	0,9
Lámina impermeabilizante	0,23	0,9
Silicona (sellante)	0,5	0,9
Vinilo flexible (vidrios)	0,12	0,9
Polietileno de baja densidad (LDPE)	0,33	0,9
EPDM	0,25	0,9
Polycarbonato	0,2	0,9
PVC	0,17	0,9
Aislantes		
Lana de roca	0,04	0,9
Espuma poliuretano	0,05	0,9
EPS	0,039	0,9
Lámina geotéxtil	0,05	0,9
Varios		
Madera (de pino)	0,15	0,9
Vídrio	1	0,95
Piedra artificial (vierteaguas)	1,3	0,8
Desecante	0,13	0,9
Placa de yeso laminado	0,25	0,9

Pétreos naturales		
Arenisca	3	0,8
Granito	2,8	0,8
caliza dureza media	1,4	0,8
marmol	3,5	0,9

9.4.- TABLA. CÁLCULO NUMÉRICO DE U2D Y TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL.

Nº	Seccion	Tipo	Eje	Longitud	U-factor	HF (mW)	Transmisión térmica total (L2D) (W)	L2D (W/m²K)	ψ (W/m²K)						
1a	1a-h	Exterior	Total	1378,32	1,24721	27504,8718	27,50468217	1,719037607	1,711190663						
		Exterior	X=	830	2,07114	27504,7392				1,7190462	1,42722977				
		Exterior	Y=	361,254	4,75856	27504,78135				1,719048834	1,592036964				
		Interior	Total	860,821	1,99698	27504,67713				25,30015513	1,581277663	1,573430719			
		Interior	X=	830	2,07113	27504,6064							1,7190379	1,42722147	
		Interior	Y=	22,3187	77,0223	27504,60171							1,719037607	1,711190663	
	1a-vi	Exterior	Total	1107,48	1,42779	25299,98191	25,30015513	1,58127525	1,343954659						
		Exterior	X=	399,161	3,96142	25299,9099							1,581244369	1,440904925	
		Exterior	Y=	675	2,34258	25299,864							1,5812415	1,343920909	
		Interior	Total	700,952	2,2559	25300,44187				22,35681989	1,397302387	1,389455443			
		Interior	X=	22,3187	70,8499	25300,44261							1,581277663	1,573430719	
		Interior	Y=	675	2,34263	25300,404							1,58127525	1,343954659	
	1a-vs	Exterior	Total	1140,24	1,22545	22356,91373	22,35681989	1,397303863	1,160191763						
		Exterior	X=	360,654	3,87435	22356,7972							1,397299825	1,270498906	
		Exterior	Y=	674,333	2,07212	22356,78234							1,397298896	1,160212813	
		Interior	Total	700,245	1,99545	22356,86216				26,24475826	1,640294448	1,414686947			
		Interior	X=	22,3187	62,6068	22356,83819							1,397302387	1,389455443	
		Interior	Y=	674,407	2,0719	22356,86181							1,397303863	1,160191763	
	1b	1b-h	Exterior	Total	1139,25	1,5986	29139,2808	29,13896833	1,821166183				1,766537093		
			Exterior	X=	844,417	2,15676	29139,27694							1,821204809	1,524319563
			Exterior	Y=	219,91	8,28157	29139,20094							1,821200059	1,743882768
			Interior	Total	1014,55	1,79506	29138,84997			26,24475826	1,640300864	1,414693363			
			Interior	X=	844,417	2,15672	29138,73652							1,821171032	1,524285786
			Interior	Y=	155,379	11,7208	29138,65893							1,821166183	1,766537093
1b-vi	Exterior	Total	944,143	1,73735	26244,90946	26,24475826	1,640294448	1,414686947							
	Exterior	X=	246,744	6,6478	26244,87621				1,640304763				1,553553012		
	Exterior	Y=	641,685	2,55624	26244,81383				1,640300864				1,414693363		
	Interior	Total	808,33	2,02924	26244,72911				26,24475826	1,640289489	1,585660399				
	Interior	X=	155,379	10,5567	26244,63183							1,640289489	1,585660399		
	Interior	Y=	641,685	2,55623	26244,71116							1,640294448	1,414686947		

	1b-vs	Exterior Total	948,885	1,62483	24668,42903		
		Exterior X=	219,961	7,00934	24668,50297	1,541781436	1,464446214
		Exterior Y=	679,333	2,26955	24668,48336	1,54178021	1,302936197
		Interior Total	846,039	1,82235	24668,46675		
		Interior X=	155,379	9,92267	24668,39267	1,541774542	1,487145451
		Interior Y=	679,407	2,26929	24668,34418	24,6684308	1,541771511
1c	1c-h	Exterior Total	1008,4	2,21181	35686,22726		
		Exterior X=	847,017	2,63323	35686,2492	2,230390575	1,932591205
		Exterior Y=	88,0897	25,3195	35686,19455	2,230387159	2,199416049
		Interior Total	1187,31	1,87854	35686,54924		
		Interior X=	847,017	2,63324	35686,38472	2,230399045	1,932599675
		Interior Y=	287,199	7,76604	35686,38275	35,6863028	2,230398922
	1c-vi	Exterior Total	730,984	2,51398	29402,8665		
		Exterior X=	96,7218	18,9997	29402,96294	1,837685183	1,803679147
		Exterior Y=	643,373	2,85632	29402,86668	1,837679167	1,611478189
		Interior Total	942,346	1,95013	29403,15528		
		Interior X=	287,707	6,38741	29403,2411	1,837702569	1,736548798
		Interior Y=	643,373	2,85635	29403,1755	29,40306155	1,837698469
	1c-vs	Exterior Total	865,36	2,17912	30171,57253		
		Exterior X=	87,6333	21,5183	30171,51423	1,885719639	1,854908993
		Exterior Y=	681,147	2,76845	30171,54259	1,885721412	1,646239622
		Interior Total	268,554	3,14024	13493,18421		
		Interior X=	22,3187	37,7856	13493,20753	0,843325471	0,835478527
		Interior Y=	242,716	3,47453	13493,18438	21,83236218	0,843324023
2	2-h	Exterior Total	1115,23	1,58432	28270,0991		
		Exterior X=	701,332	2,51934	28270,30017	1,766893761	1,525131879
		Exterior Y=	340,615	5,18735	28270,22752	1,76688922	1,649473042
		Interior Total	740,769	2,38518	28269,87845		
		Interior X=	701,332	2,5193	28269,85132	1,766865708	1,525103826
		Interior Y=	22,3187	79,1652	28269,82959	28,27005215	1,766864349
	2-vi	Exterior Total	1044,71	1,6208	27092,25549		
		Exterior X=	374,324	4,52351	27092,13372	1,693258357	1,564222074
		Exterior Y=	675,558	2,50646	27092,14567	1,693259105	1,460381989
		Interior Total	711,684	2,37925	27092,38651		
		Interior X=	22,3187	75,8679	27092,3664	1,6932729	1,685579238
		Interior Y=	675,558	2,50648	27092,36185	27,09225191	1,693272616
	2-vs	Exterior Total	1105,62	1,34577	23806,56364		
		Exterior X=	342,036	4,35016	23806,58121	1,487911326	1,370005303
		Exterior Y=	717,833	2,07278	23806,55817	1,487909886	1,240459809
		Interior Total	753,92	1,97356	23806,50168		
		Interior X=	22,3187	66,6666	23806,58953	1,487911845	1,480218184
		Interior Y=	717,907	2,07257	23806,60018	23,80658227	1,487912511
3	3-h	Exterior Total	1094,32	1,66969	29234,80257		

4	3-v	Exterior	X=	699,734	2,61125	29234,88652		1,827180408	1,580661052	
		Exterior	Y=	340,588	5,36478	29234,87505		1,827179691	1,707189045	
		Interior	Total	740,769	2,46661	29235,01157				
		Interior	X=	701,332	2,60531	29234,99637		1,827187273	1,580104935	
		Interior	Y=	22,3187	81,868	29234,99731	29,23493881	1,827187332	1,819324356	
	3-vs	Exterior	Total	1048,72	1,62095	27198,76294				
		Exterior	X=	357,946	4,74913	27198,91339		1,699932087	1,573826142	
		Exterior	Y=	655,558	2,59311	27198,94409		1,699934005	1,468978048	
		Interior	Total	691,684	2,45768	27199,00693				
		Interior	X=	22,3187	76,1666	27199,03193		1,699939495	1,69207652	
	4-h	Exterior	Total	1080,54	1,36813	23653,10704				
		Exterior	X=	341,062	4,33446	23653,11354		1,478319597	1,358161959	
		Exterior	Y=	697,833	2,11845	23653,1891		1,478324319	1,232474694	
		Interior	Total	733,483	2,01549	23653,24243				
		Interior	X=	22,3187	66,2375	23653,35826		1,478334891	1,470471915	
	5	4-vi	Interior	Y=	697,907	2,11824	23653,35238	23,65325332	1,478334524	1,232458828
			Exterior	Total	866,231	3,11469	43168,65653			
			Exterior	X=	696,733	3,87242	43168,68486		2,698042804	-0,378013617
Exterior			Y=	144,103	18,723	43168,6475		2,698040469	2,061829814	
Interior			Total	1129,24	2,38926	43168,7674				
4-vs		Interior	X=	696,733	3,87242	43168,68486		2,698042804	-0,378013617	
		Interior	Y=	187,686	14,3753	43168,68089	43,16867453	2,698042556	1,869414193	
		Exterior	Total	805,196	4,64384	59827,22228				
		Exterior	X=	144,654	25,8493	59827,27428		3,739204642	3,100561338	
		Exterior	Y=	655,558	5,70384	59827,16708		3,739197943	0,844927979	
5-h		Interior	Total	1290,73	2,89699	59827,71044				
		Interior	X=	184,637	20,2518	59827,70555		3,739231597	2,924064482	
		Interior	Y=	655,558	5,7039	59827,79642	59,82748583	3,739237276	0,844967312	
		Exterior	Total	776,564	6,06349	75339,00877				
		Exterior	X=	144,562	32,572	75338,77542		4,708673464	4,070436337	
5-vi		Exterior	Y=	594,854	7,91569	75338,87775		4,708679859	2,082416332	
		Interior	Total	1189,39	3,9589	75338,81714				
		Interior	X=	185,041	25,4467	75338,92504		4,708682815	3,891732051	
	Interior	Y=	594,928	7,91472	75339,01664	75,33889871	4,70868854	2,082098305		
	Exterior	Total	904,173	2,35578	34080,52272					
5-vi	Exterior	X=	696,733	3,05716	34080,38813		2,130024258	1,578819592		
	Exterior	Y=	185,603	11,4763	34080,57134		2,130035709	1,983200063		
	Interior	Total	1129,24	1,8863	34081,36659					
	Interior	X=	696,733	3,05724	34081,27995		2,130079997	1,57887533		
	Interior	Y=	187,686	11,3492	34081,37522	34,08090366	2,130085951	1,981602387		
5	5-vi	Exterior	Total	840,512	3,73377	50212,45584				
		Exterior	X=	184,654	16,9955	50212,59291		3,138287057	2,992202192	

6	5-vs	Exterior	Y=	655,558	4,78719	50212,49123		3,138280702	2,619650712
		Interior	Total	779,638	3,02178	37694,31225			
		Interior	X=	157,633	14,9455	37694,46402		2,355904002	2,231196193
		Interior	Y=	424,226	5,55339	37694,27882	43,95345675	2,355892426	2,020275553
		Exterior	Total	820,501	3,74718	49193,03899			
		Exterior	X=	184,562	16,6587	49193,00783		3,074562989	2,928550908
	6-h	Exterior	Y=	594,854	5,16861	49193,09333		3,074568333	2,603962949
		Interior	Total	1130,57	2,71948	49193,00006			
		Interior	X=	174,633	17,6059	49193,13816		3,074571135	2,936414158
		Interior	Y=	594,928	5,16796	49193,02571	49,19306626	3,074564107	2,60390018
		Exterior	Total	801,696	2,80042	35921,3682			
		Exterior	X=	696,733	3,22231	35921,43541		2,245089713	1,678167389
6	6-vi	Exterior	Y=	85,6422	26,2147	35921,35329		2,24508458	2,175398668
		Interior	Total	726,174	3,09168	35921,56212			
		Interior	X=	696,733	3,22232	35921,54689		2,245096681	1,678174356
		Interior	Y=	22,3187	100,593	35921,67983	35,92150385	2,245104989	2,226944561
		Exterior	Total	782,329	2,46777	30889,72858			
		Exterior	X=	98,3177	19,6364	30889,69095		1,930605684	1,850605887
	6-vs	Exterior	Y=	655,558	2,94499	30889,78807		1,930611754	1,397192977
		Interior	Total	691,482	2,79203	30890,21582			
		Interior	X=	22,3187	86,503	30890,1521		1,930634506	1,912474078
		Interior	Y=	655,558	2,94503	30890,20763	30,88995969	1,930637977	1,397219199
		Exterior	Total	700,346	2,54656	28535,56976			
		Exterior	X=	85,6537	20,8219	28535,56442		1,783472776	1,713777506
7	7v	Exterior	Y=	592,854	3,00828	28535,5333		1,783470831	1,30107346
		Interior	Total	628,933	2,83569	28535,3443			
		Interior	X=	22,3187	79,9088	28535,36855		1,783460535	1,765300107
		Interior	Y=	592,928	3,00788	28535,30036	28,53544166	1,783456273	1,300998689
		Exterior	Total	988,98	3,20556	50723,75566			
		Exterior	X=	830	3,81956	50723,7568		3,1702348	2,57748113
	8v	Exterior	Y=	229,169	13,8337	50724,08312		3,170255195	3,006591622
		Interior	Total	1269,7	2,49685	50724,00712			
		Interior	X=	830	3,81956	50723,7568		3,1702348	2,57748113
		Interior	Y=	496,169	6,38944	50723,87289	50,7238674	3,170242055	2,815897482
		Exterior	Total	318,022	3,25844	16580,08969			
		Exterior	X=	6,58984	157,251	16580,14288		1,03625893	1,021156164
8	8v	Exterior	Y=	300,219	3,45167	16580,11065		1,036256916	0,34820726
		Interior	Total	1237,99	0,837051	16580,17228			
		Interior	X=	468,994	2,20954	16580,17604		1,036261003	-0,038591556
		Interior	Y=	300	3,4542	16580,16	16,58014739	1,03626	0,348712254
		Exterior	Total	301,499	1,93324	9325,918828			
		Exterior	X=	0	-1	0		0	0
9	9v	Exterior	Y=	301,499	1,93324	9325,918828		0,582869927	0,363083917

		Interior	Total	594,019	0,98123	9325,908214		
		Interior	X=	451,494	1,29098	9325,915586		0,582869724
		Interior	Y=	144,389	4,03679	9325,889141	6,994430889	0,582868071
		Exterior	Total	1107,48	1,42676	25281,73064		
		Exterior	X=	399,161	3,95857	25281,70816		1,58010676
		Exterior	Y=	675	2,3409	25281,72		1,5801075
		Interior	Total	700,952	2,25423	25281,71243		
		Interior	X=	22,3187	70,7975	25281,73061		1,580108163
		Interior	Y=	675	2,34091	25281,828	25,28174669	1,58011425
1a_vi con PUR en premarco		Exterior	Total	944,143	1,70254	25719,05957		
		Exterior	X=	246,744	6,51463	25719,13384		1,607445865
		Exterior	Y=	641,685	2,50504	25719,14548		1,607446592
		Interior	Total	808,33	1,98859	25718,99128		
		Interior	X=	155,379	10,3453	25719,0779		1,607442369
		Interior	Y=	641,685	2,50502	25718,94014	25,71907434	1,607433759
1b_vi repisa trasdosada		Exterior	Total	1211,18	1,3301	25775,84829		
		Exterior	X=	376,753	4,27602	25776,05381		1,611003363
		Exterior	Y=	635,549	2,53482	25776,03706		1,611002316
		Interior	Total	387,261	3,19564	19800,74787		
		Interior	X=	22,3187	55,4489	19800,75783		1,237547364
		Interior	Y=	361,308	3,42518	19800,71897	22,78839192	1,237544935
1c bis	vi	Exterior	Total	1105,62	1,34036	23710,86117		
		Exterior	X=	342,036	4,33266	23710,81113		1,481925696
		Exterior	Y=	717,833	2,06444	23710,77054		1,481923159
		Interior	Total	753,92	1,96563	23710,84431		
		Interior	X=	22,3187	66,3985	23710,85123		1,481928202
		Interior	Y=	717,907	2,06423	23710,80267	23,71080889	1,481925167
2_vs_relleno dintel PUR		Exterior	Total	1048,72	1,60229	26885,6571		
		Exterior	X=	357,946	4,69445	26885,7536		1,6803596
		Exterior	Y=	655,558	2,56325	26885,7447		1,680359044
		Interior	Total	691,684	2,42944	26886,47643		
		Interior	X=	22,3187	75,2912	26886,42729		1,680401705
		Interior	Y=	655,558	2,56332	26886,47892	26,88610112	1,680404933
3_vi_cambio tapajuntas		Exterior	Total	820,501	1,70134	22335,21874		
		Exterior	X=	184,562	7,56358	22335,19123		1,395949452
		Exterior	Y=	594,854	2,34671	22335,19729		1,39594983
		Interior	Total	635,807	2,19556	22335,23867		
		Interior	X=	29,7267	46,9595	22335,2155		1,395950969
		Interior	Y=	594,928	2,34642	22335,21532	22,33520483	1,395950958
5_vs_trasdosado pladur		Exterior	Total	782,329	2,04747	25628,72252		
		Exterior	X=	98,3177	16,292	25628,67149		1,601791968
		Exterior	Y=	655,558	2,44341	25628,75156		1,601796973
6_vi_trasdosado pladur		Interior	Total	594,019	0,98123	9325,908214		
		Interior	X=	451,494	1,29098	9325,915586		0,582869724
		Interior	Y=	144,389	4,03679	9325,889141	6,994430889	0,582868071

		Interior	Total	732,219	2,18752	25627,89931		
		Interior	X=	65,2592	24,5443	25627,86212		1,601741383
		Interior	Y=	655,558	2,44333	25627,91245	25,62829941	1,601744528
7_camar a no ventilada con manta		Exterior	Total	952,658	1,35329	20627,56072		
		Exterior	X=	830	1,55328	20627,5584		1,2892224
		Exterior	Y=	229,169	5,62566	20627,63002		1,289226877
		Interior	Total	919,411	1,40224	20627,75809		
		Interior	X=	830	1,55329	20627,6912		1,2892307
		Interior	Y=	35,3553	36,465	20627,69623	20,62764396	1,289231015
7_ camara no ventilada		Exterior	Total	988,98	1,56698	24795,39009		
		Exterior	X=	830	1,86712	24795,3536		1,5497096
		Exterior	Y=	229,169	6,76233	24795,46246		1,549716404
		Interior	Total	919,411	1,68555	24795,41138		
		Interior	X=	830	1,86712	24795,3536		1,5497096
		Interior	Y=	35,3553	43,8324	24795,32243	24,79537302	1,549707652
8_ forro canto forjado		Exterior	Total	359,209	2,65061	15233,96748		
		Exterior	X=	6,58984	144,483	15233,91764		0,952119853
		Exterior	Y=	341,406	2,78883	15233,97272		0,952123295
		Interior	Total	1360,21	0,699985	15234,02555		
		Interior	X=	510,045	1,86675	15234,02406		0,952126504
		Interior	Y=	341,123	2,79115	15234,00738	15,23398045	0,952125461
9_ inyeccion PUR canto forjado		Exterior	Total	301,499	1,8719	9030,01565		
		Exterior	X=	0	-1	0		0
		Exterior	Y=	301,499	1,8719	9030,01565		0,564375978
		Interior	Total	594,019	0,950095	9029,991709		
		Interior	X=	451,494	1,25002	9030,024478		0,56437653
		Interior	Y=	144,389	3,9087	9029,972549	6,772503169	0,564373284

9.5.- TABLA. CÁLCULO DEL FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL.

CASOS					
Nº	Seccion	Te (°C)	Ti (°C)	Tsi (°C)	fRSI
1a	1a-h	5	21	11,3	0,39375
	1a-vi	5	21	12,1	0,44375
	1a-vs	5	21	8,5	0,21875
1b	1b-h	5	21	13,9	0,55625
	1b-vi	5	21	11,5	0,40625
	1b-vs	5	21	11,1	0,38125
1c	1c-h	5	21	11,1	0,38125
	1c-vi	5	21	9,8	0,3
	1c-vs	5	21	11,7	0,41875
2	2-h	5	21	12,3	0,45625
	2-vi	5	21	10,1	0,31875
	2-vs	5	21	11,9	0,43125
3	3-h	5	21	11,8	0,425
	3-vi	5	21	9,3	0,26875
	3-vs	5	21	10,3	0,33125
4	4-h	5	21	12,4	0,4625
	4-vi	5	21	13,5	0,53125
	4-vs	5	21	12,9	0,49375
5	5-h	5	21	13,5	0,53125
	5-vi	5	21	13,2	0,5125
	5-vs	5	21	12	0,4375
6	6-h	5	21	11,8	0,425
	6-vi	5	21	12,8	0,4875
	6-vs	5	21	11,7	0,41875
7	7-v	5	21	11	0,375
8	8-v	5	21	14	0,5625
9	9-v	5	21	17,6	0,7875

Soluciones				
Nº	Te (°C)	Ti (°C)	Tsi (°C)	fRSI
1a_vi con PUR en premarco	5	21	11,8	0,425
1b_vi repisa trasdosada	5	21	11,1	0,38125
1c bis -vi	5	21	9,1	0,25625
2_vs_relleno dintel PUR	5	21	10,2	0,325
3_vi_cambio tapajuntas	5	21	9,1	0,25625
5_vs_trasdosado pladur	5	21	10,6	0,35
6_vi_trasdosado pladur	5	21	11,6	0,4125
7_camara no ventilada con manta	5	21	16,7	0,73125
7_camara no ventilada	5	21	17,6	0,7875
8_forro canto forjado	5	21	15,7	0,66875
9_inyeccion PUR canto forjado	5	21	17,7	0,79375

9.6.- CÁLCULO DE LAS TRANSMITANCIAS DE LOS CERRAMIENTOS.

TIPOLOGÍAS					
	Capa	e (mm)	λ (W/m²K)	Rt (m²K/W)	U Total
1	Rse			0,04	
	Piedra arenisca	30	3	0,01	
	Cámara de aire ventilada	50	2,39	0,0209205	
	Lana de roca	50	0,04	1,25	
	Hormigón armado	200	2,4	0,08333333	
	Lana de roca	50	0,04	1,25	
	Placa de cartón yeso	15	0,25	0,06	
	Rsi			0,13	
	Totales	395		2,84425384	0,3516

	Capa	e (mm)	λ (W/m²K)	Rt (m²K/W)	U Total
2	Rse			0,04	
	Madera HPL	10	0,15	0,06666667	
	Cámara de aire ventilada	50	2,39	0,0209205	
	Lana de roca	50	0,04	1,25	
	Hormigón armado	200	2,4	0,08333333	
	Lana de roca	50	0,04	1,25	
	Placa de cartón yeso	15	0,25	0,06	
	Rsi			0,13	
	Totales	375		2,9009205	0,3447

	Capa	e (mm)	λ (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)	U Total
3	Rse			0,04	
	Chapa de acero plegada	1	60	1,6667E-05	
	Cámara de aire ventilada	60	2,39	0,0251046	
	Lana de roca	50	0,04	1,25	
	Hormigón armado	200	2,4	0,08333333	
	Lana de roca	50	0,04	1,25	
	Placa de cartón yeso	15	0,25	0,06	
	Rsi			0,13	
	Totales	376		2,8384546	0,3523

	Capa	e (mm)	λ (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)	U Total
4	Rse			0,04	
	Chapa de acero plegada	1	60	1,6667E-05	
	Cámara de aire ventilada	135	2,39	0,05648536	
	Rsi			0,13	
		Totales	136		0,22650202

	Capa	e (mm)	λ (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)	U Total
5	Rse			0,04	
	Chapa de acero plegada	1	60	1,6667E-05	
	Lana de roca	41,5	0,04	1,0375	
	Chapa de acero plegada	1	60	1,6667E-05	
	Cámara de aire ventilada	135	2,39	0,05648536	
	Rsi			0,13	
	Totales	178,5		1,26401869	0,7911

	Capa	e (mm)	λ (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)	U Total
6	Rse			0,04	
	Hormigón armado	40	2,4	0,01666667	
	Poliestireno expandido	40	0,039	1,02564103	
	Hormigón armado	40	2,4	0,01666667	
	Rsi			0,13	
	Totales	120		1,22897436	0,8137

	Capa	e (mm)	λ (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)	U Total
7	Rse			0,04	
	Grava	50	3,5	0,01428571	
	Lámina separadora geotéxtil	1	0,05	0,02	
	Aislante térmico EPS	40	0,039	1,02564103	
	Lámina separadora geotéxtil	1	0,05	0,02	
	Lámina impermeabilizante betun modif	5	0,23	0,02173913	
	Hormigón aligerado	20	0,5	0,04	
	Forjado hormigón armado	160	1,35	0,11851852	

	Chapa de acero	3	50	0,00006	
	Rsi			0,1	
	Totales	280		1,40024439	0,7142

	Capa	e (mm)	λ (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)	U Total
8	Rse			0,04	
	Vidrio	4	1	0,004	
	Cámara aislante vidrios	6	0,045	0,13333333	
	Vidrio	4	1	0,004	
	Cámara de aire liger. Vent.	85	0,68	0,125	
	Rsi			0,13	
	Totales	99		0,43633333	2,2918

	Capa	e (mm)	λ (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)	U Total
9	Rse			0,04	
	Vidrio	4	1	0,004	
	Cámara aislante vidrios	6	0,045	0,13333333	
	Vidrio	4	1	0,004	
	Cámara de aire liger. Vent.	625	0,68	0,91911765	
	Vidrio	4	1	0,004	
	Cámara aislante vidrios	6	0,045	0,13333333	
	Vidrio	4	1	0,004	
	Rsi			0,13	
Totales	639		1,37178431	0,729	

	Capa	e (mm)	λ (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)	U Total
SOL7	Rse			0,04	
	Chapa de acero plegada	1	60	1,6667E-05	
	Lana de roca	41,5	0,04	1,0375	
	Chapa de acero plegada	1	60	1,6667E-05	
	Cámara de aire no ventilada	100	0,29	0,34482759	
	Placa de cartón yeso	15	0,25	0,06	
	Lana de roca	50	0,04	1,25	
	Placa de cartón yeso	15	0,25	0,06	
	Rsi			0,13	
Totales	158,5		2,92236092	0,3422	

	Capa	e (mm)	λ (W/m ² K)	Rt (m ² K/W)	U Total
SOL8	Rse			0,04	
	Hormigón armado	40	2,4	0,01666667	
	Poliestireno expandido	40	0,039	1,02564103	
	Hormigón armado	40	2,4	0,01666667	
	Lana de roca	40	0,04	1	
	Placa de cartón yeso	13	0,25	0,052	
	Rsi			0,13	
	Totales	120		2,28097436	0,4384

9.7.- COMPARATIVA NUMÉRICA ENTRE SUJETOS

Vista 1		Vista 2		COMPARATIVA									
	Valores sujeto		Valores solución		Diferencia		% Variación		RSI		Descripción		
	L2D (W/m²K)	ψ (W/m²K)	RSI	L2D (W/m²K)	ψ (W/m²K)	RSI	L2D (W/m²K)	ψ (W/m²K)	RSI	L2D (W/m²K)	ψ (W/m²K)	RSI	
1a-h	1.718037607	1.711190663	0.39375	1.821165183	1.76537093	0.55625	0.102128576	0.05524643	0.1625	6%	3%	41%	
1a-vi	1.581277663	1.573430719	0.44375	1.640289489	1.585660399	0.40625	0.059011826	0.01222968	-0.0375	4%	1%	-8%	Haces interiores vs intermedias
1a-vs	1.397202387	1.389455443	0.21875	1.541774342	1.487145451	0.38125	0.144472155	0.097690008	-0.1625	10%	7%	74%	
1b-h	1.821166183	1.766537093	0.55625	2.230398922	2.129423757	0.38125	0.409232739	0.362886664	-0.175	22%	21%	-31%	
1b-vi	1.640289489	1.585660399	0.40625	1.837702569	1.736548798	0.3	0.19741308	0.150888399	-0.10625	12%	10%	-26%	Haces intermedias vs exteriores
1b-vs	1.541774542	1.487145451	0.38125	1.843332571	1.835478527	0.41875	-0.698449071	-0.651666925	0.0375	-45%	-44%	10%	
1c-vi	1.837702569	1.736548798	0.3	1.237547264	1.229700421	0.25625	-0.60155204	-0.506848378	-0.04375	-33%	-29%	-15%	Verteaguas de piedra vs ALPE-AL
1d-vi	1.581277663	1.573430719	0.44375	1.580108163	1.572261219	0.425	-0.0011695	-0.0011695	-0.0875	0%	0%	-4%	Inyección de PUR en premarco
1b-vi replisa trasdosada	1.640289489	1.585660399	0.40625	1.607423269	1.552813278	0.39125	-0.032847121	-0.032847121	-0.025	-2%	-2%	6%	Trasdosado con cartón yeso y LR de la replisa
2-vs	1.487911845	1.480218184	0.43125	1.481928202	1.474234541	0.325	-0.005983643	-0.005983643	-0.10625	0%	0%	-25%	Inyección de PUR en dintel
3-vi	1.69939495	1.69207652	0.26875	1.680401705	1.67253873	0.25625	-0.01953779	-0.01953779	-0.0125	-1%	-1%	-5%	Cambio material del tapalunas
4-vs	4.708682815	3.891732051	0.69375	3.074571135	2.936414158	0.4375	-1.634111668	-0.955317893	-0.05625	-35%	-25%	-11%	Una sola chapa a chapa sandwich
5-vs	3.074571135	2.936414158	0.4375	1.395950969	1.372433358	0.35	-1.678620166	-1.63980801	-0.0875	-55%	-53%	-20%	Trasdosado con cartón yeso y LR
6-vi	1.930634506	1.912474078	0.4875	1.601741183	1.548640384	0.4125	-0.328893124	-0.363833234	-0.075	-17%	-19%	-15%	Trasdosado con cartón yeso y LR
7-vi	3.170242055	2.815897482	0.375	1.540707652	1.524468274	0.7875	-1.620534004	-1.291439209	0.4125	51%	-46%	110%	Carroja con cámara no ventilada
7-vi	3.170242055	2.815897482	0.375	1.289231015	1.263981636	0.73125	-1.881011041	-1.551915846	0.35625	59%	55%	95%	Carroja con cámara no ventilada y prolongación del aislamiento sobre el perfil
8-vi	1.036261003	0.038591536	0.5625	0.952126504	-0.216807797	0.66875	-0.084134059	-0.178216241	0.10625	-8%	467%	19%	Forrado del canto del forjado en muro cortina
9-vi	0.582869724	0.253740724	0.7875	0.56437653	0.235247529	0.79375	-0.018493194	-0.018493194	0.00625	-3%	-7%	1%	Inyección de PUR en periferia del canto del forjado

10- BIBLIOGRAFÍA.

10.1.- LIBROS DE TEXTO Y ENSAYOS UTILIZADOS.

- VVAA: Tectónica 16 (monografías de arquitectura, tecnología y construcción) Muro cortina. ed. ATC Ediciones S.L.Dic2003
- BEINHAUER, Peter: Atlas de detalles constructivos. Ed. Gustavo Gili, 2ªed. 2005
- PARICIO, Ignacio: La piel ligera. Maduración de una técnica constructiva. Gutipo Folcrá Edificación SA.
- SÁNCHEZ-OSTIZ Gutiérrez, Ana: Fachadas. Cerramientos de edificios. Ed. CIE, 2011
- BLAT Llorens, Vicente: Construcción. Librería Politécnica, 2000.

10.2.- NORMATIVA CONSULTADA

- CTE. Código Técnico de la edificación.
- Catálogo de elementos constructivos del CTE. Ministerio de la Vivienda – CSIC – Instituto Eduardo Torroja.
- Catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación. Instituto valenciano de la edificación, Generalitat Valenciana. Documento reconocido RDR 07/11. Decreto 132/2006 del Consell.
- Catálogo de cerramientos de Tecnyconta.

10.3.- DOCUMENTOS

- Manual básico: Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad. Colegio oficial de aparejadores y arquitectos técnicos de la Región de Murcia.
- Incoperfil: Documentación técnica y detalles constructivos de fachadas ventiladas.

10.4.- ARTÍCULOS CIENTÍFICOS.

- PARK, Benjamin, KRARTI, Moncef: Development of a simulation analysis environment for ventilated slab systems. 20/04/2015
- HUA GE, FUAD BABA: Dynamic effect of thermal bridges on the energy performance of low-rise residential building. 12/07/2015
- ASCIONE, Fabrizio, VVAA.: Dynamic insulation of the building envelope; Numerical modeling under transient conditions and coupling with nocturnal free cooling. 06/04/2015.
- IBRAHIM, Mohamad, VVAA.: Building envelope with a new aerogel-based insulating rendering: Experimental and numerical study, cost and thickness optimization. 19/08/2015.
- VOELLINGER, T. VVAA.: Facilitating the incorporation of VIP into precast concrete sandwich panels. 04/06/2014
- PINTO GOMES, Adriano, VVAA.: Impact of thermal bridging on the performance buildings using Light Steel Framing in Brazil. 14/11/2014.
- JIN-HEE SONG, VVAA.: Influence of thermal bridges on the insulation performance of curtain wall panel systems. 25/06/2015.
- DE ANGELIS, Enrico, SERRA, Ermanno: Light steel-frame walls: thermal insulation performances and thermal bridges. 2013
- IBRAHIM, Mohamad, VVAA.: Limiting Windows offset thermal bridge losses using a new insulating coating. 11/02/2014.
- GARAY, Roberto, VVAA.: Performance of thermal bridge elements into a full scale experimental study of a building façade. 13/09/2014.
- BOAFO, Fred Edmon, VVAA.: Structure of vacuum insulation panel in building system. 11/06/2014.
- BERARDI, Umberto: The development of a monolithic aerogel glazed window for an energy retrofitting Project. 18/05/2015.
- MIZONOV, Vadim, VVAA.: Theoretical study of the thermal state of building envelope in the neighborhood of embedded item. 11/01/2015.
- ASTE, Niccolò, VVAA.: Thermal inertia and energy efficiency – Parametric simulation assessment on a calibrated case study. 22/01/2015
- GOULOUTI, Kyriaki, VVAA.: Thermal evaluation of fiber-reinforced polymer thermal breaks for balcony connections. 18/11/2013.
- MANDILARAS, I. VVAA.: Thermal performance of a building envelope incorporating ETICS with vacuum insulation panels and EPS. 11/07/2014.

- KIM, Yail J. ALLARD, Austin: Thermal response of precast concrete sandwich walls with various steel connectors for architectural buildings in cold regions.. 05/05/2014.
- TAYLOR, Tim, VVAA.: Combining thermography and computer simulation to identify and assess insulation defects in the construction of building façades. 26/02/2014.
- SALLÉE, H.VVAA.: VIP as thermal breaker for internal insulation system. 30/08/2014.

Valencia, 29 de Julio del 2016

Jorge Gutiérrez Moreno