



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
ENGINYERIA  
D'EDIFICACIÓ

Prof. Tutor:  
Ignacio Guillén Guillamón

*“Simulación de flujos de calor bidimensionales en procesos de rehabilitación energética. Estudio de la influencia del sistema de montaje de las carpinterías”.*

# Trabajo Final de Máster

Jorge Gutiérrez Moreno

## ÍNDICE

	Capítulo	Página
INTRO	1 Introducción.	2
	1.1 Antecedentes. Estudio estadístico del estado del parque de viviendas	2
METODOLOGÍA	2 Metodología.	5
	2.1 Breve introducción a la teoría de elementos finitos	5
	2.2 Justificación del uso del programa <i>Therm7</i> para el cálculo de puentes térmicos.	6
	2.3 Algoritmo interno del programa. Normativa.	6
	2.4 Limitaciones.	8
ANÁLISIS	3 Manejo del programa. Introducción y proceso de los datos.	9
	4 Selección de los parámetros clave para analizar los puentes térmicos	11
	5 Análisis de los datos.	13
	5.1 Elección de los sujetos de estudio. Justificación general.	13
	5.2 Materiales utilizados y características térmicas.	15
	5.3 Descripción de los sujetos caso por caso.	15
PROPUESTAS	6 Resultados de las simulaciones.	31
	6.1 Discusión sobre los puentes térmicos encontrados.	31
	7 Soluciones a los puentes térmicos.	39
	7.1 Condiciones y materiales utilizados.	39
ANEXOS	7.2 Justificación de las propuestas elegidas.	39
	7.3 Exposición y análisis comparativo de los resultados de las simulaciones.	56
	8 Conclusiones.	67
	9 Anexos.	70
	9.1 Láminas de las soluciones constructivas analizadas.	71
	9.2 Láminas de las soluciones propuestas a los puentes térmicos.	88
	9.3 Gráfica comparativa de los parámetros térmicos.	107
	9.4 Partes de una carpintería. Nomenclatura.	109
	9.5 Listado de materiales y sus características térmicas.	111
	9.6 Datos estadísticos sobre vivienda utilizados.	112
9.7 Tabla: Cálculo numérico de U2D y transmitancia térmica lineal.	114	
9.8 Tabla: Cálculo del factor de temperatura superficial.	122	
9.9 Cálculo de transmitancias de los cerramientos utilizados.	124	
	10 Bibliografía.	127



## 1- Introducción

El presente Trabajo Final de Máster pretende encontrar y cuantificar los puentes térmicos entre los distintos elementos que conforman las carpinterías y los cerramientos donde éstas se asientan, con un propósito de mejora en el ámbito de rehabilitación. Para ello se utilizará el análisis por elementos finitos mediante un programa especialmente creado para estas funciones llamado Therm7, de la universidad de California.

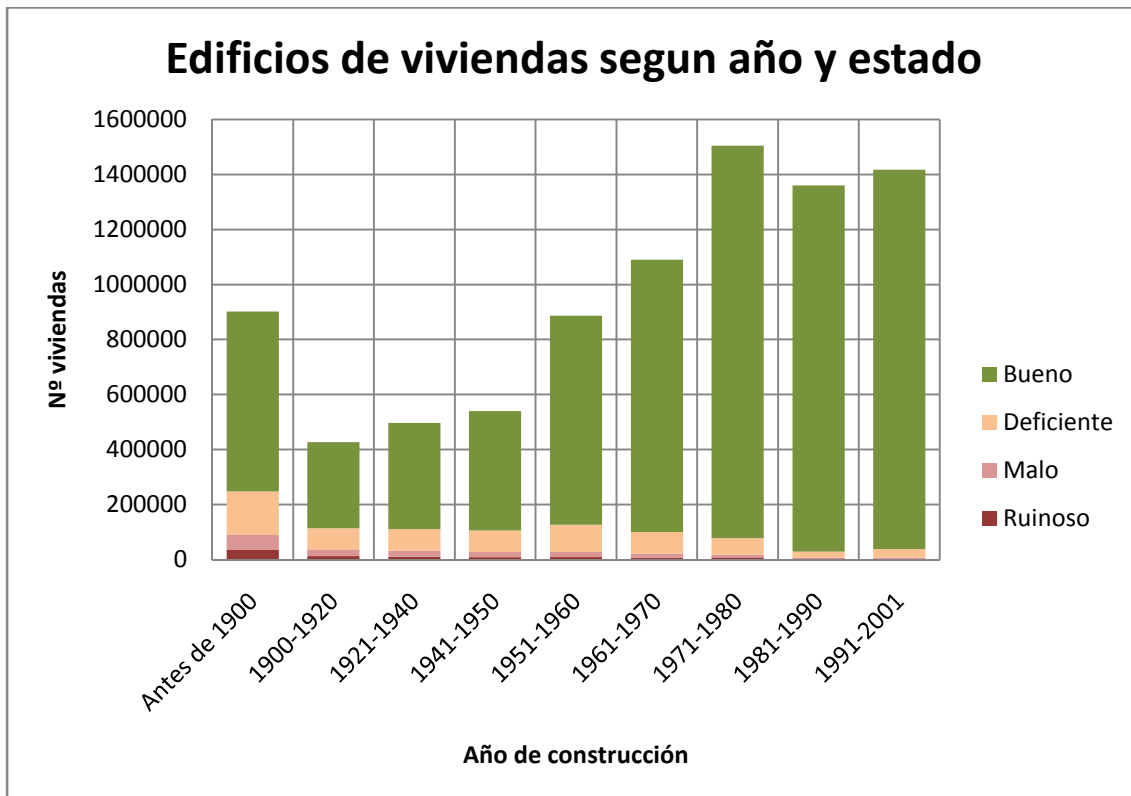
Primeramente se consultarán las estadísticas de edificios existentes en España y su estado para, seguidamente, hacer una selección de cerramientos y tipologías de carpinterías según la época y necesidad de rehabilitación. De cada uno de estos sujetos se analizarán mediante el programa antes citado los encuentros entre ellos tanto horizontales como verticales y de todos los elementos que los conforman para poder conocer los puentes típicos que generan los usos simultáneos de estas tipologías. Después de este primer análisis se propondrán soluciones a los puentes térmicos encontrados y se procederá a simularlas para poder comparar y cuantificar térmicamente el alcance de éstas medidas. Por último, se tratará de hacer una síntesis general para poder llegar a conclusiones que sirvan como guía para, en una hipotética rehabilitación, aportar soluciones tanto constructivas como de diseño para evitar los puentes térmicos.

### 1.1- Antecedentes. Estudio estadístico del estado del parque de viviendas

Por la actual coyuntura económica la edificación de viviendas de nueva planta es muy limitada. Es por esto por lo que el sector de la construcción se está orientando hacia la rehabilitación e intervención en edificaciones existentes. La rehabilitación energética es un campo que hay que tener en cuenta tanto por sí misma como formando parte de una actuación más amplia.

Hay que recordar que el estado español se ha comprometido a que las viviendas de nueva planta tengan un comportamiento térmico mucho mejor que los existentes hasta el momento en el país, acercándonos al modelo de "*Passivhaus*" que en el resto de Europa, sobre todo en los países nórdicos, está teniendo tanto éxito. Para llegar a esta meta tanto en edificios nuevos como en rehabilitaciones de existentes, hay que tener muy en cuenta el aislamiento térmico que se incorpora a los cerramientos para dotarlos de las características deseadas. Tan importante como el aislamiento o la tipología de cerramientos o carpinterías, es la incidencia de los puentes térmicos posibles entre ellas; un cerramiento bien proyectado y calculado con sus carpinterías de calidad pueden tener serios problemas y ser causa de patologías si no se vigilan los puentes térmicos que se derivan de la mala colocación de sus componentes o incluso del sistema constructivo en sí.

Tanto para hacer una selección previa de los sujetos que analizaremos como para justificar la necesidad de este estudio en los edificios en proceso de rehabilitación, consideramos importante exponer los datos estadísticos del número de viviendas y su estado tanto del Instituto Nacional de Estadística como del reconvertido Ministerio de la Vivienda.

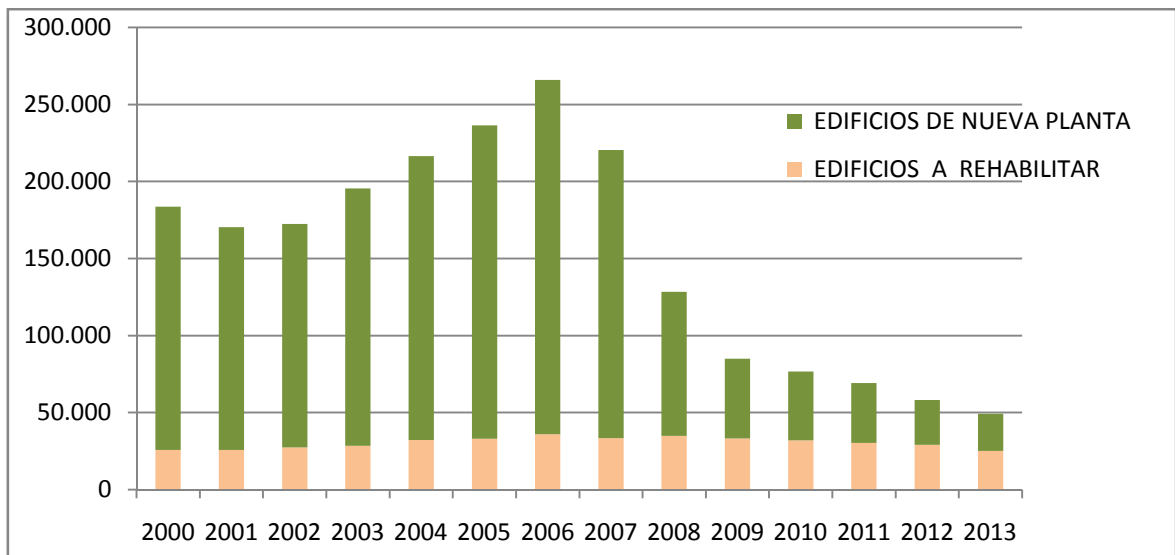


En el gráfico superior, extraído de los datos del INE en un rango de un siglo podemos ver tanto el número de viviendas edificadas en el período que abarca desde antes de 1900 hasta el 2001 como el estado actual que presentan. Bueno es el estado en el que no se precisa intervención alguna, deficiente es el que sería necesario reparar algún aspecto para asegurar la habitabilidad, malo es el estado que deja a una vivienda casi inhabitable y ruinoso es estado en el que el coste de rehabilitación es superior al de reposición; es decir, que no es económicamente viable. La suma de viviendas en estado deficiente y malo (las que son susceptibles de ser rehabilitadas) sería de unas 855000 para este periodo.

Se puede apreciar que el grueso de viviendas que necesita rehabilitación (y en el que se puede intervenir en el cerramiento para optimizar sus características térmicas) está en los edificios anteriores al siglo XX, aunque para el resto del siglo las viviendas con estado deficiente se reparten casi de forma equitativa.

De ser necesaria una selección de características de cerramientos y carpinterías según su época de construcción, habría que incluir tipologías anteriores al siglo XX. Para analizar las tipologías del siglo XX, como la necesidad de rehabilitación está muy distribuida, seleccionaremos las tipologías más comunes para cada época.

Como también queremos analizar el estado del parque de viviendas más actual, necesitaremos los datos que posee el Ministerio. Estos datos han sido recogidos con una metodología estadística distinta al gráfico anterior y por eso deberemos leerla por separado. (Nótese que en el gráfico anterior solo se representan las viviendas pero en el que sigue también el resto de edificios; no hemos encontrado datos estadísticos continuos y compatibles para realizar comparaciones).



En la gráfica superior podemos ver el número total de viviendas construidas y las que necesitan rehabilitación. Podemos ver que el pico de la construcción de nueva planta se produjo en el año 2006, año de la entrada en vigor del código técnico, y que a partir de entonces empieza la debacle en la que actualmente nos encontramos. Actualmente los edificios que necesitan rehabilitación son superiores en número a los edificios de nueva planta.

Por todo lo anteriormente expuesto, consideramos que la importancia de una rehabilitación que incluya la adaptación y mejora energética es clave para el sector de la edificación.

## 2- Metodología.

En esta sección explicaremos el método utilizado para analizar los puentes térmicos. Comenzando por la teoría en la que se basa el programa y el algoritmo que sigue, las normativas que cumple y en las que está certificado y cuáles son sus limitaciones respecto sus funciones.

### 2.1- Breve introducción a la teoría de elementos finitos.

Para comprender cómo funciona el programa debemos hacer una pequeña introducción al método de elementos finitos para el cálculo bidimensional.

El método de elementos finitos utiliza las ecuaciones diferenciales (en este caso las térmicas) sobre un cuerpo. Primeramente divide la geometría con un mallado, en cuyos vértices calcula los valores exactos de las ecuaciones dadas. Para el espacio entre los vértices los resultados son interpolados lo que hace que sean inexactos. Cuanto más densa sea la malla, mayor será la exactitud de los resultados pero el tiempo de proceso se verá incrementado. Por esto es necesario una computadora para este tipo de cálculos.

Según wikipedia:

*El desarrollo de un algoritmo de elementos finitos para resolver un problema definido mediante ecuaciones diferenciales y condiciones de contorno requiere en general cuatro etapas:*

1. *El problema debe reformularse en [forma variacional](#).*
2. *El dominio de variables independientes (usualmente un dominio espacial para problemas dependientes del tiempo) debe dividirse mediante una [partición](#) en subdominios, llamados elementos finitos. Asociada a la partición anterior se construye un espacio vectorial de dimensión finita, llamado espacio de elementos finitos. Siendo la solución numérica aproximada obtenida por elementos finitos una combinación lineal en dicho espacio vectorial.*
3. *Se obtiene la proyección del problema variacional original sobre el espacio de elementos finitos obtenido de la partición. Esto da lugar a un sistema con un número de ecuaciones finito, aunque en general con un número elevado de ecuaciones incógnitas. El número de incógnitas será igual a la dimensión del espacio vectorial de elementos finitos obtenido y, en general, cuanto mayor sea dicha dimensión tanto mejor será la aproximación numérica obtenida.*
4. *El último paso es el cálculo numérico de la solución del sistema de ecuaciones.*

No es el propósito de este trabajo profundizar en el uso de esta teoría para el cálculo sino de encontrar una manera sencilla de abordar el análisis de los puentes térmicos.

## 2.2- Justificación del uso del programa *Therm7* para el cálculo de puentes térmicos.

Como decíamos anteriormente, no forma parte de este trabajo profundizar en la teoría de elementos finitos ni en la programación de modelos para el cálculo. Por esta razón se ha elegido el software LBNL Therm de la universidad de California. Puesto que está orientado específicamente al cálculo de puentes térmicos en elementos constructivos y ventanas, viene configurado con las ecuaciones necesarias, parámetros sencillos y un interfaz fácil de usar. Esto no hace que sea menos potente; *hace solo una cosa pero de manera efectiva y relativamente sencilla para el usuario.*

Como veremos en el siguiente apartado, el programa funciona según algoritmos estandarizados para el cálculo térmico y con parámetros y unidades estándar. Por todo ello y aunque no está reconocido por ninguna norma española es un programa apropiado para el uso que se le dará en este Trabajo Final de Máster.

## 2.3- Algoritmo interno del programa. Normativa.

A continuación expondremos las bases del algoritmo que sigue el programa para llegar a las soluciones de las ecuaciones y a la representación en elementos útiles para el análisis térmico.

Las ecuaciones de cálculo diferenciales que definen el modelo son las siguientes:

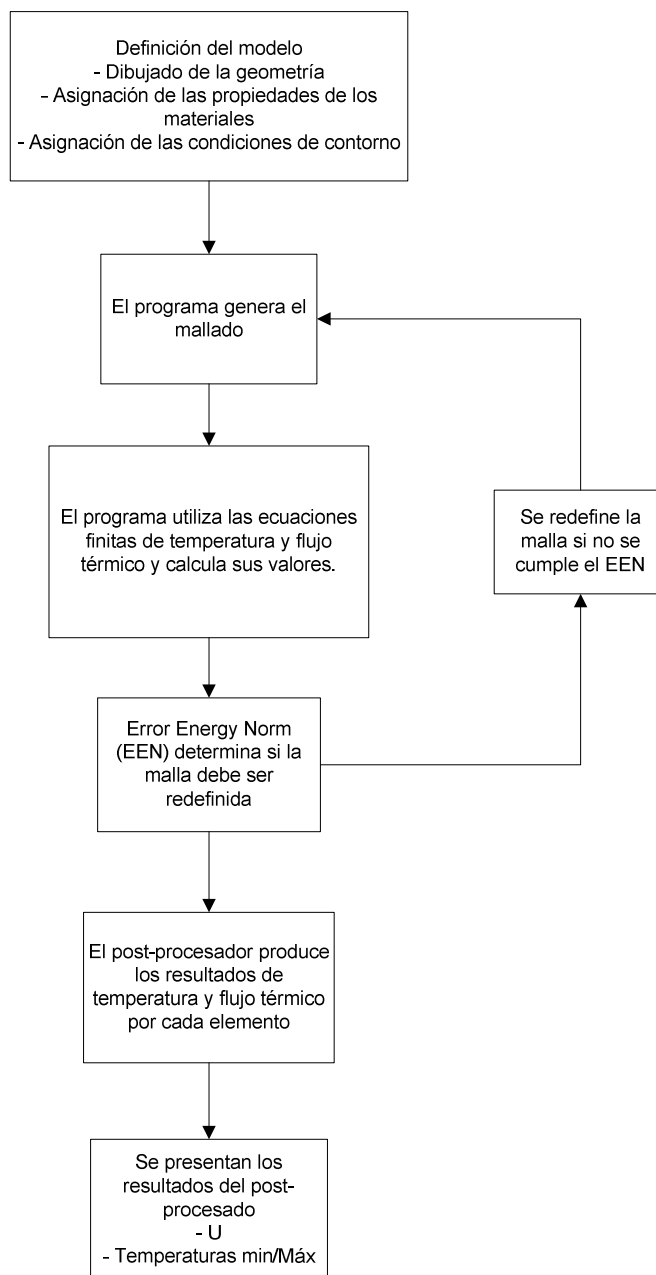
- Ecuación de conducción térmica bidimensional: Derivada de la ecuación general de la energía

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

donde  $k_{11}$  y  $k_{22}$  son conductividades en las direcciones  $x$  e  $y$  respectivamente y  $Q(x,y)$  es la generación de calor interna conocida por unidad de volumen. Cuando hay medios sin generación interna de calor u otras propiedades, se utilizan otras ecuaciones.

- Ecuaciones que definen las condiciones de contorno: Hay muchas, así que solo las nombraremos. Entre ellas están la Ley de Fourier con temperatura definida, con flujo definido y la Ley de Newton para el intercambio de calor. Después se tienen en cuenta las ecuaciones de convección, radiación, interfaz con el material, resistencia a la condensación, etc.

El algoritmo completo y sus ecuaciones se describen en el documento "*Conrad 5 Viewer 5 technical and programming documentation*", mencionado en la bibliografía. Dada la extensión y la complejidad de éste, nos limitaremos a dejar constancia de la bibliografía a la que se adscribe.

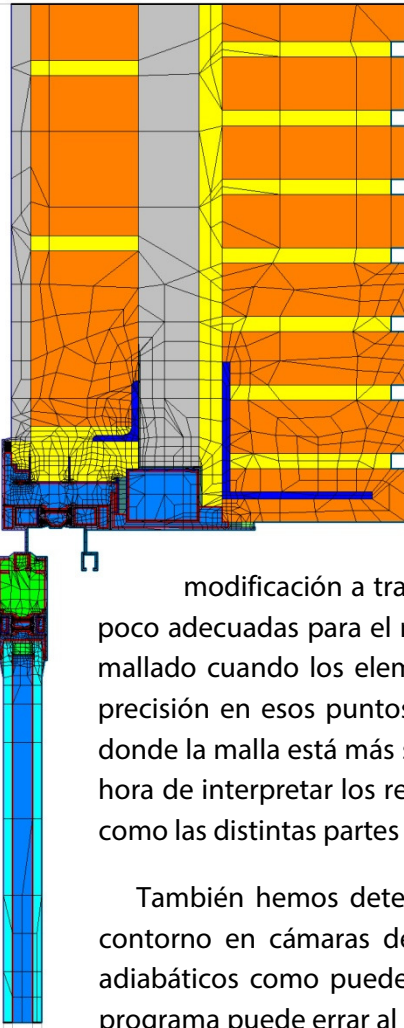


Arriba podemos ver un esquema del algoritmo de Therm. El programa sigue la normativa estadounidense NFRC 100 para el cálculo de la transmitancia y la ISO 15099 para el procedimiento de cálculo térmico. El código técnico no obligaba al cálculo de los puentes térmicos cuya superficie sea inferior a  $0.5\text{m}^2$  en la antigua opción simplificada. Actualmente estos puentes son evaluados por los procedimientos de cálculo de la demanda energética reconocidos.

La evaluación y comparación de los puentes térmicos entre las carpinterías y los cerramientos requiere un cálculo sobre una superficie relativamente pequeña que no está incluida en la normativa española actual y que no contemplan en toda su complejidad las opciones de cálculo generales.

## 2.4- Limitaciones.

Therm 7 es un programa que calcula en régimen estático, esto es, que lo hace a partir de unas condiciones fijas que no varían en el tiempo. En la realidad estas condiciones sí que varían por lo que hay que considerar esta limitación a la hora de asignar los valores de contorno.



Therm 7 es un programa para el análisis térmico bidimensional. Si se necesitara analizar en tres dimensiones una pieza habría que utilizar cualquier otro programa que lo permita. Para el propósito de este trabajo las dos dimensiones disponibles son suficientes para mostrar los puentes térmicos mediante el análisis de una sección horizontal y dos verticales por cada sujeto.

En general en un programa que aplica el método de elementos finitos hace falta un ajuste del mallado muy cuidadoso para que el error sea el mínimo y sea uniforme. Las opciones de Therm para el mallado siempre son automáticas y, aunque permiten cierta modificación a través de parámetros, pueden llegar a soluciones de mallado poco adecuadas para el modelo a analizar. El programa incrementa la densidad del mallado cuando los elementos del dibujo están más unidos, lo que incrementa la precisión en esos puntos pero hace que sea desigual si la comparamos con otros donde la malla está más separada. Tenemos que tener en cuenta esta limitación a la hora de interpretar los resultados sobre todo en elementos pequeños y muy juntos como las distintas partes de una carpintería en relación con el cerramiento.

También hemos detectado problemas a la hora de asignar las condiciones de contorno en cámaras de aire. Cuando estas cámaras tienen uno de sus lados adiabáticos como puede ser el caso de una cámara de aire en un cerramiento, el programa puede errar al confluir dos condiciones de contorno en el mismo lado. Por esta causa los resultados de las simulaciones no son del todo fiables cerca de los límites adiabáticos. Por suerte los puentes térmicos analizados se dan lejos de estos límites y muestran resultados válidos.

A la hora de representar las imágenes el programa no permite guardar con una resolución distinta a la de pantalla, por lo que la calidad de la imagen obtenida está relacionada con el tamaño del monitor. De utilizar una salida vectorial nos enfrentamos al problema del alto número de vectores que hacen imposible manejar más de una vista a la vez. Por todo esto en las imágenes anexas en este trabajo se podrán apreciar diferencias entre vistas de un mismo sujeto o cierta pixelación, lo que no afecta a la interpretación de los resultados.

### 3- Manejo del programa. Introducción y proceso de los datos.

En la siguiente página podemos ver el esquema de trabajo que hemos seguido. Partiendo de los detalles de carpintería y de los catálogos de empresas del sector que mencionamos en la bibliografía, homogeneizamos las carpinterías y las incluimos en los cerramientos seleccionados, teniendo en cuenta el correcto enlace de éstos según se hacía en la época a la que representan. Una vez representados, pasamos cada vista al programa de simulación Therm.

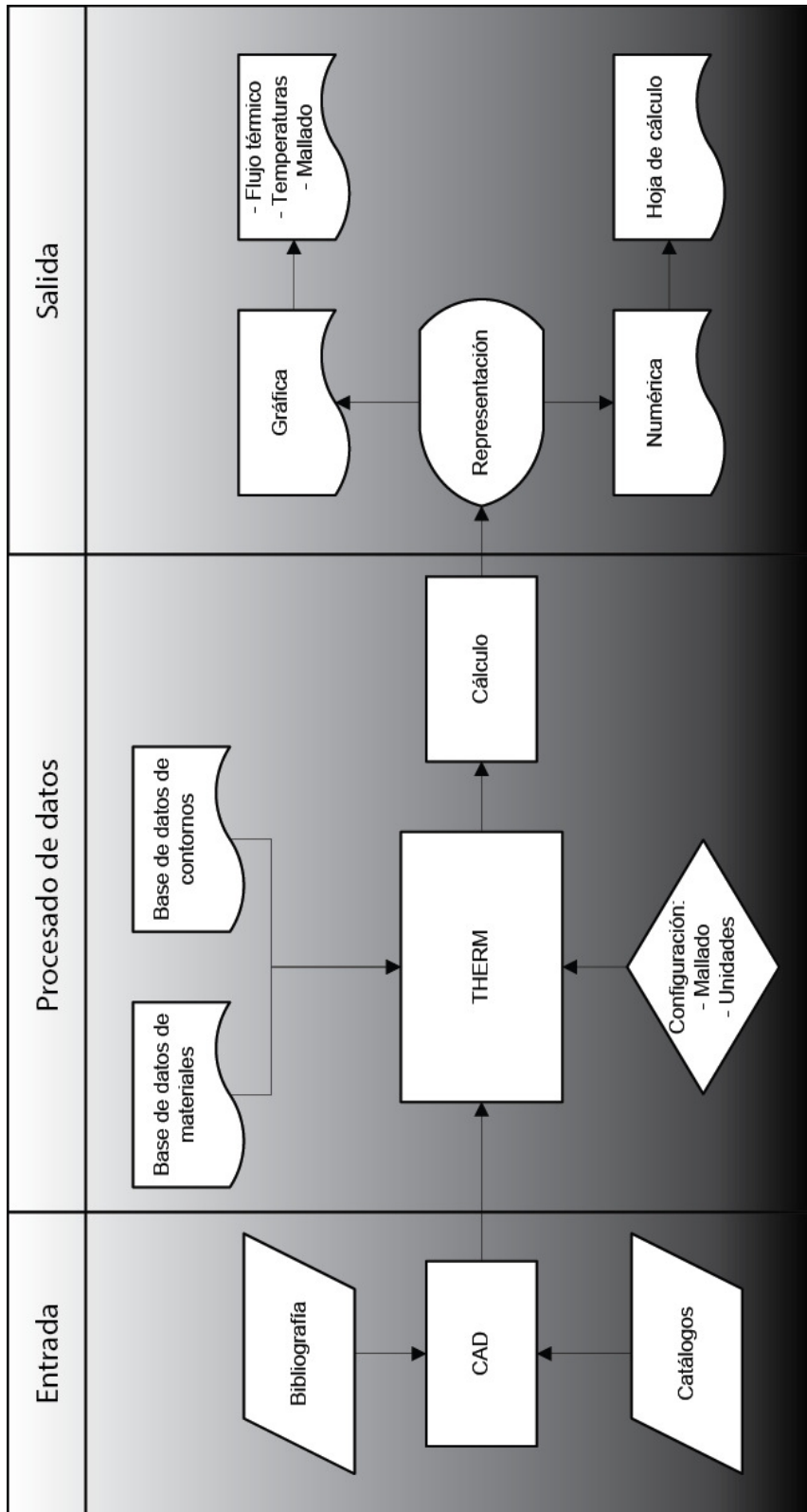
Therm permite utilizar los archivos de CAD, importando las imágenes. Permite calcar sobre ellas pero de forma manual. Antes de calcar para definir la geometría, es conveniente confeccionar la base de datos de materiales y de condiciones de contorno. Para ello, introducimos cada material con sus características clave para el cálculo térmico, esto es, la conductividad y la emisividad. Para las condiciones de contorno necesitaremos la temperatura, el coeficiente de capa y la humedad relativa.

Una vez dibujada la geometría y asignados los materiales y las condiciones de contorno, revisaremos que las unidades de trabajo sean las correctas (sistema internacional) y configuraremos el mallado automático. Esto último es opcional y puede dejarse con las opciones por defecto si no hemos tenido problemas anteriormente con ellas.

Con todos los pasos anteriores ya podemos realizar el cálculo térmico. Cuando haya terminado y si lo ha hecho con éxito, se representará automáticamente las líneas isotermas en el modelo en pantalla. Ahora podemos escoger entre las opciones de representación la que más nos interese, entre las que destacan las de temperatura por infrarrojos y flujo térmico. Como opciones de la salida de datos gráfica, podemos elegir mostrar la escala, cambiarla, mostrar las temperaturas y los polígonos, etc.

Una característica importante y que hemos utilizado en este trabajo es la de salida de datos numérica. Proporciona datos sobre la envolvente como la transmitancia para cada eje y su longitud, lo que se puede utilizar posteriormente para calcular otros parámetros interesantes para el análisis del modelo, como explicaremos más adelante.





#### 4- Selección de los parámetros clave para analizar los puentes térmicos.

Como explicábamos anteriormente, los datos de salida del programa pueden ser utilizados para calcular ciertos parámetros interesantes para interpretar y cuantificar los puentes térmicos y, posteriormente, poder compararlos con las soluciones de éstos. Como los datos de salida del programa son la transmitancia para cada eje y su longitud, tenemos que, a partir de ellos, llegar a parámetros útiles para nuestro propósito. Tenemos que tener en cuenta que la transmitancia que devuelve el programa es la resultante de hacer la media en ese eje de las de las transmitancias de todos los materiales, así que no será necesario hacer ninguna media con este valor.

Para hacer estos cálculos tenemos que escoger los datos de salida de las transmitancias para invierno y para el eje Y, que es el perpendicular al cerramiento y la carpintería y es el eje de propagación principal del calor.

Comenzaremos con el cálculo de la transmitancia térmica total en 2D (L2D). Se diferencia de la transmitancia (U) en que esta tiene en cuenta las dos dimensiones.

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

donde (U-factor) es la transmitancia que devuelve Therm en el eje Y y (l) es la longitud en metros.

L2D se usa para calcular la transmitancia térmica lineal ( $\psi$ ) de la siguiente forma:

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

siendo (L2D) la transmitancia térmica total, U la transmitancia del cerramiento en una dimensión y (l) la longitud en metros. ( $\psi$ ) será la magnitud que utilizaremos para cuantificar los puentes térmicos y, como podemos ver, es proporcional a (L2D) aunque incluye el valor de (U) en el cálculo. Por esto utilizaremos las dos al mismo tiempo aunque los resultados para cada modelo sean similares.

Por supuesto, para una misma solución constructiva cuanto menor sean los valores de la transmitancia térmica total y lineal mejor se comportará térmicamente.

Por último, utilizaremos el factor de temperatura superficial ( $f_{RSI}$ ).

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

donde ( $T_e$ ) es la temperatura de contorno exterior, ( $T_i$ ) la temperatura de contorno interior y ( $T_{si}$ ) el valor de la temperatura más bajo alcanzada en el interior.

Como podemos ver  $f_{RSI}$  relaciona la temperatura mínima que se alcanza en un punto de la superficie interior con las temperaturas ambientales interior y exterior. Es adimensional. Servirá también para evaluar la eficacia del puente térmico; cuanto mayor sea el valor de esta variable, más se acercará el punto interior con menor temperatura a la temperatura ambiental interior. Una diferencia muy alta entre la temperatura interior y el mínimo en la superficie interior podría llevar a condensaciones.

La temperatura  $T_{si}$  se puede hallar con el programa, buscándola sobre el perímetro interior de la sección y las otras dos son las temperaturas que se establecen como condiciones de contorno para el cálculo.

#### Uso de estas variables para el análisis de los puentes térmicos:

Advertencia: No deben compararse los valores de las variables térmicas de dos modelos distintos porque tienen una proporción distinta de vidrio, que es el elemento con mayor transmitancia. Sí que pueden y deben usarse para comparar las soluciones con los casos de puentes térmicos

U2D muestra la transmitancia TOTAL de todo el modelo. Este valor se halla mediante el cálculo que realiza el programa con el modelo a través de un eje perpendicular al cerramiento. El programa tiene en cuenta tanto el cerramiento como la carpintería

La transmitancia térmica lineal se halla utilizando la transmitancia del cerramiento por lo que se dará un mayor peso al aislamiento en esta zona. Nótese en la gráfica del anexo que involucra todas las variables que, para un mismo modelo, los valores de la transmitancia térmica lineal son siempre menores que los de la transmitancia térmica total. Esto es así porque el vidrio y la carpintería (que sí que entran en el cálculo de U2D) tienen una conductividad alta respecto al cerramiento y una superficie muy grande.

El valor de  $f_{RSI}$  se utiliza para valorar el peor punto térmicamente hablando, en la superficie del paramento interior, relacionándolo con las temperaturas del entorno.

## 5- Análisis de los datos.

A continuación pasaremos a seleccionar los sujetos de estudio para analizar posteriormente sus puentes térmicos. De un total de ocho sujetos hemos obtenido tres vistas de cada uno, correspondientes a la sección horizontal desde aproximadamente medio metro desde el cerramiento hasta bien entrada la hoja de la carpintería, y dos verticales pertenecientes a la sección por el antepecho y vierteaguas y la superior que corta el dintel.

A las vistas en sección horizontal las hemos llamado nh y a las verticales nv1 y nv2 donde n es en número de sujeto o solución, h es horizontal, v1 es vertical inferior ( seccionando antepecho y vierteaguas) y v2 es vertical superior (seccionando dinteles y cajas de persiana).

Cada una de las soluciones y de sus vistas será simulada posteriormente por separado y unidas en las láminas para poder tener una visión general de la simulación.

### 5.1- Elección de los sujetos de estudio. Justificación general.

Para seleccionar los sujetos de estudio hemos tenido en cuenta los datos estadísticos sobre la población y el estado actual de las viviendas en España. Hay una cantidad considerable de edificios pertenecientes o anteriores al principio del siglo XX. Por esta razón, hemos querido incluir tipologías de carpinterías de madera clásicas, con cerramientos de fábricas portantes y dinteles de arcos en la misma fábrica. Por otra parte, como ya hemos dicho, el resto de edificios con necesidades de restauración se reparte de forma casi uniforme a través del siglo XX por lo que tendremos que seleccionar tipologías constructivas que resulten representativas de cada periodo.

De esta forma, la separación entre épocas quedaría de la siguiente forma: Una primera desde antes del siglo XX hasta 1940 con carpinterías y cerramientos clásicos como fábrica de un pie resistente y carpinterías de madera de calidad. Una segunda época sería después de la guerra civil, desde los 40 hasta los 50, en la que la estructura dominante es de pilares y forjados de hormigón armado y unos cerramientos mínimos de medio pie con carpinterías de madera de baja calidad. La tercera época seleccionada comenzaría en los 60 y duraría hasta bien entrados los 70 en la que se generalizaron las carpinterías de acero. El cuarto periodo cubre todos los 70 y marca el cambio a una carpintería de aluminio y cerramientos con doble hoja pero sin aislamiento entre ellas. En el quinto y sexto sujeto de estudio hemos elegido una carpintería de Aluminio y PVC respectivamente, con aislamiento térmico entre las hojas del cerramiento. Para terminar, los sujetos séptimo y octavo los hemos elegido entre las soluciones actuales incluidas en la etapa post-CTE.

A parte del periodo de construcción hemos tenido en cuenta otros aspectos para elegir la tipología como el tipo de material de la carpintería, la forma de apertura, el tipo de vidrio que monta, la composición de los cerramientos, el tipo de dintel que generan y el tipo de aislamiento térmico si lo hubiere.

Año	Nº	Ventanas				Cerramientos		
		Material ventana	Tipo apertura	Tipo vidrio	Especial	Composición	Tipo dintel	Aislamiento
<b>1900-1940</b>	1	Madera	Practicable	Simple 3mm	Haces int/ext	Fáb. lad 1 pie revestida estructural (15+240+15)	Arco	No
<b>1940-1959</b>	2	Madera	Practicable	Simple 3mm	Haces int	Fáb. lad. 1/2 pie revestida (15+115+15)	Prefab. obra	No
<b>1960-1970</b>	3	Hierro 1.5mm plegado/galvan.	Practicable	Simple 3mm	Vierteaguas metálico	Fáb. lad. 1/2 pie revestida (15+115+15)	Prefab. obra	No
<b>1970</b>	4	Aluminio	Corredera	Simple 3mm	Persiana enrr.	LV+MC+CAM+LH4+YL (115+15+55+40+15)	Perfil acero	No
<b>Pre CTE</b>	5	Aluminio	Corredera	4[6]4	-	LV+MC+RW+LH9+YL (115+15+55+90+15)	Perfil acero	RW 55mm
<b>Pre CTE</b>	6	PVC	Practicable	5[9]6	Jamba proteg.	LV+MC+RW+LH9+YL (115+15+55+90+15)	Perfil acero	RW 55mm
<b>Post CTE</b>	7	Aluminio	Practicable	4[12]4	-	LV+MC+CAM+PEX+LH9+YL (115+15+55+40+90+15)	Perfil acero	EPS 40mm
<b>Post CTE</b>	8	PVC	Corredera	6[13]6	-	LV+MC+PEX+LH9+YL (115+15+40+90+15)	Perfil acero	EPS 40mm

Sobre estas líneas podemos ver los sujetos que van a ser analizados en busca de puentes térmicos. Apréciase cómo las distintas tipologías se adaptan a la secuencia temporal. Hemos intentado abarcar los tipos de carpinterías y ventanas más comunes presentes en la actualidad que son susceptibles de ser rehabilitados térmicamente. Los dos últimos no deberían ajustarse a esta exigencia pero hemos querido conocer los puentes que se dan en las carpinterías actuales como consecuencia de una mala colocación o del uso de materiales inadecuados.

## 5.2- Materiales utilizados y características térmicas.

En el anexo 9.5 puede consultarse los valores de la base de datos de materiales que se han utilizado con el programa. Han sido extraídos del catálogo de elementos constructivos del CTE que es un documento reconocido por la legislación española. Algunos datos de emisividad se han sacado de otro tipo de bibliografía como internet o tratados porque no se encontraban en la publicación del ministerio.

En cuanto a las condiciones de contorno utilizadas en el análisis de los puentes térmicos, hemos decidido simular las temperaturas para un régimen de invierno y otro de verano. Para el contorno de invierno hemos dado una temperatura exterior de 5°C y otra interior de 21°C. Para las condiciones de verano hemos utilizado 25 y 30°C respectivamente. Estas condiciones están basadas en las recomendaciones de temperaturas que da el RITE para climatización. Las cámaras cumplen con lo estipulado en la norma ISO 15099 relativa a cálculos térmicos.

## 5.3- Descripción de los sujetos caso por caso.

### CASO1

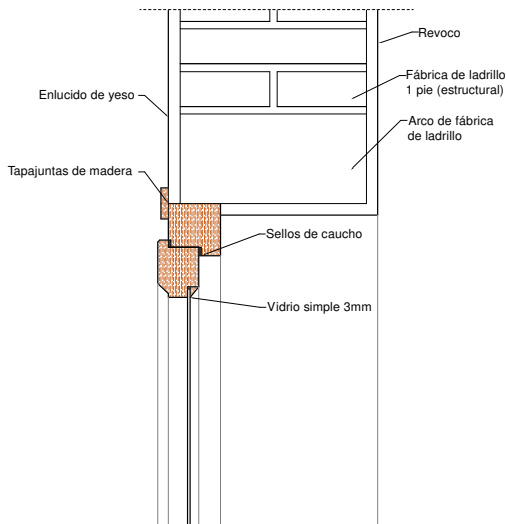
El primer caso que proponemos está compuesto por un cerramiento de fábrica de ladrillo macizo de un pie de espesor revestida por el trasdós con un revoco y enlucida por el intradós. El dintel está formado por un arco de la misma fábrica de ladrillo. El cerramiento no presenta ninguna capa de aislante térmico instalada a tal efecto.

Este sistema de cerramiento es muy común en edificios anteriores al siglo XX y también forma parte de la arquitectura tradicional. La estructura portante solía ser también el cerramiento en el que se apoyaban directamente o a través de zunchos las vigas del forjado y la cubierta. Si las necesidades mecánicas lo exigían, se podía incrementar el espesor del muro aparejando hiladas sucesivas. Este tipo de estructura permite edificaciones de hasta cinco pisos.

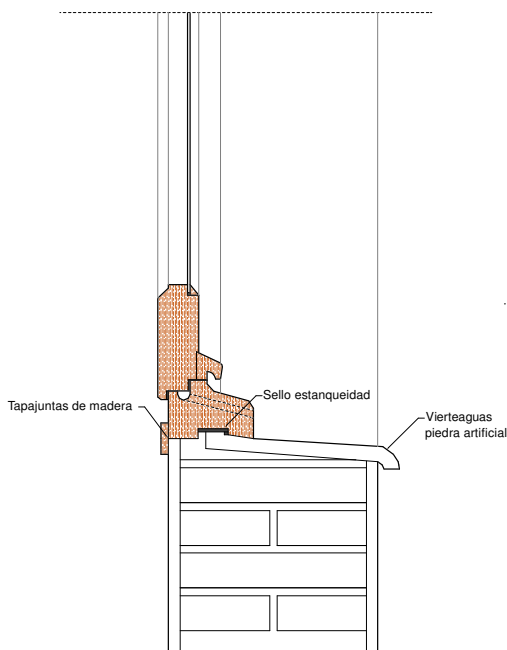
En el hueco se asienta una carpintería de madera sin premarco, practicable y con un vidrio simple de 3mm de sección. La pieza del vierteaguas es de piedra artificial y la carpintería se asienta en parte sobre ella. Entre la carpintería y el vierteaguas se ha situado un cordón impermeabilizante para evitar que el agua penetre por la junta. Si se colocaba una forma de impermeabilización entre el dintel y la fábrica podría ser bituminosa o en forma de lámina metálica como el zinc o el plomo.

Este tipo de huecos presenta un problema de estanqueidad al agua por la pieza de ladrillo que queda en las jambas. Al presentar una continuidad entre el interior y el exterior del muro si el ladrillo es demasiado poroso o la capa de revoco se debilita puede penetrar la humedad hacia el interior.

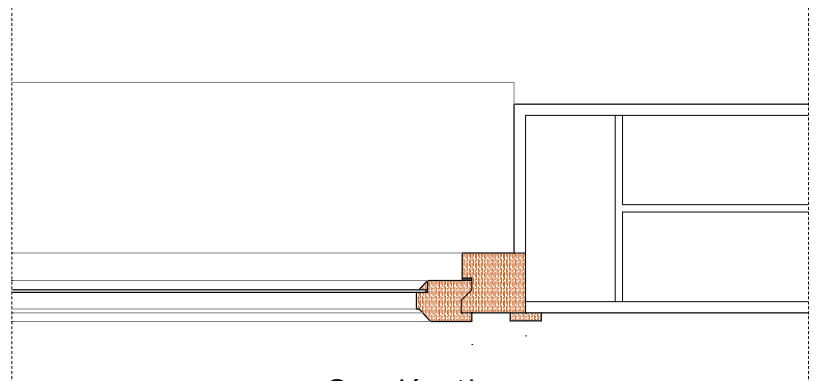
1



Sección 1v2b



Sección 1v1b



Sección 1h

## CASO 2:

Este caso es un ejemplo de cerramiento de postguerra. Es una tipología común entre los años posteriores a la guerra civil y que continúa durante los años de la autarquía y el desarrollismo. La estructura de pilares y forjados de hormigón armado toma importancia y las hojas del cerramiento se aligeran al no tener ya que soportar las cargas, no teniendo en cuenta el problema del aislamiento térmico que antes estaba en parte solventado gracias a la gran inercia térmica de los grandes espesores de las fábricas del cerramiento.

Tiene una sola hoja de fábrica de ladrillo de medio pie de espesor, revocada por el trasdós y enlucida con mortero de yeso por el intradós. El dintel está ejecutado mediante una pieza prefabricada de hormigón armado.

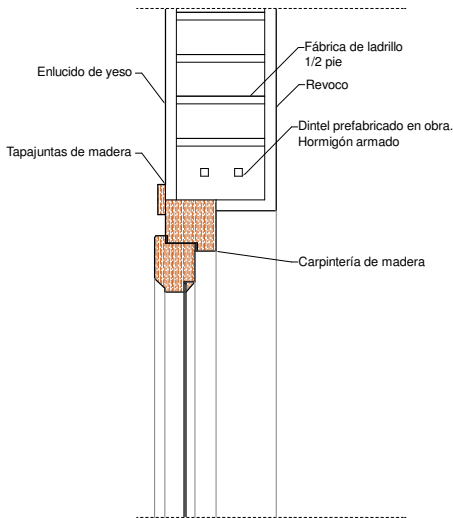
La carpintería es de madera de baja calidad con una baja estanqueidad y un solo vidrio de 3mm de espesor. Hay que destacar que las carpinterías de madera no son intrínsecamente peores que sus homólogas de otros materiales más modernos, incluso, como ya demostraremos más adelante, la madera es mala conductora térmica y esto la hace apropiada para el uso en carpinterías, salvando otros problemas que pueda tener según sea la calidad de la madera o la ejecución como puede ser deformaciones, humedades, etc.

El vidrio simple va sujeto a la hoja mediante un junquillo clavado. No se han dispuesto elementos de amortiguación entre la madera y el vidrio.

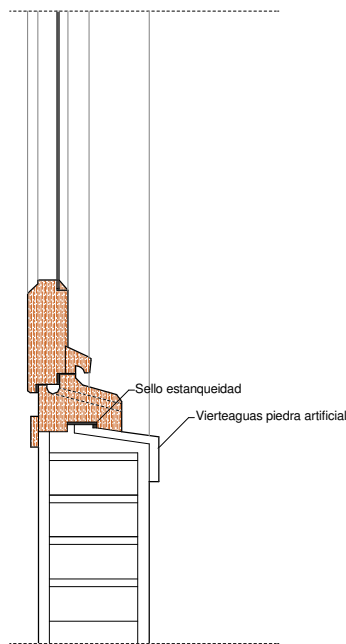
La pieza de vierteaguas está en parte bajo la carpintería y entre ellas se sitúa un cordón impermeabilizante. Hemos incluido cordones sellantes de neopreno a modo de burletes en la hoja de la carpintería con el marco para aumentar la estanqueidad y minimizar el ruido producido por la vibración de la hoja.



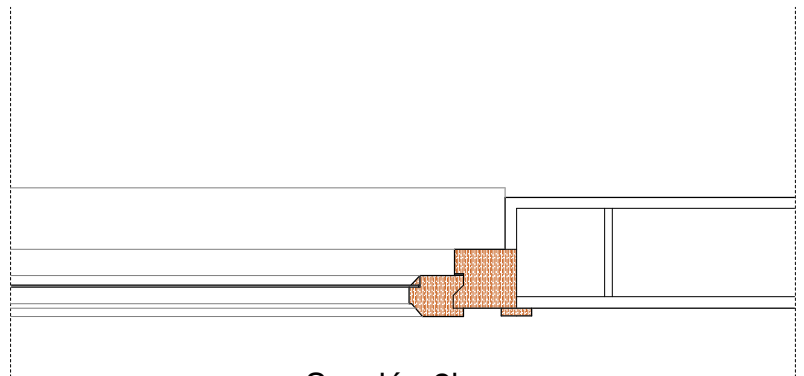
# 2



Sección 2v2



Sección 2v1



Sección 2h

### CASO 3:

Para el tercer caso a analizar hemos seleccionado una solución que se basa en el anterior cerramiento de una hoja de medio pie pero en este caso hemos sustituido la carpintería de madera por otra de acero galvanizado.

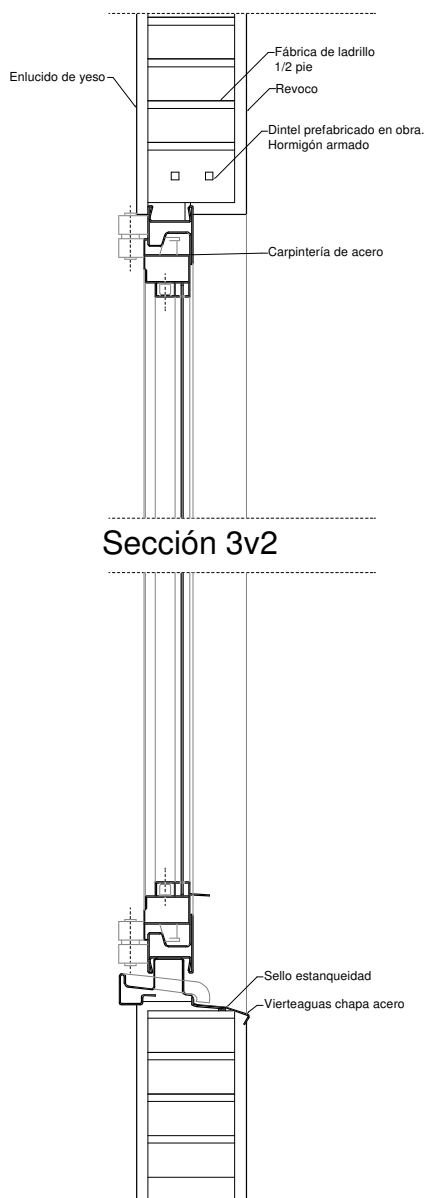
En la década de los 60 hasta los 70 del siglo pasado se introdujeron las carpinterías de acero, bien de perfiles de chapa plegada y galvanizada o pintada o bien con perfiles laminados. La mayoría de las veces se colocaron sin ningún tipo de rotura del puente térmico con los problemas que conllevaban. La mayor parte de ellas eran de apertura batiente.

En la actualidad gran parte de estas carpinterías originales han sido sustituidas por otras carpinterías de aluminio o PVC dada la obsolescencia y problemas térmicos y de estanqueidad que generaban, al ser la mayor parte de las instaladas en España, de baja calidad. Las carpinterías de acero también podían ofrecerse pintadas del color elegido y con el tiempo podía desprenderse la pintura por lo que necesitaban ser repintadas con el tiempo, sobre todo en el exterior donde las condiciones climatológicas, la diferencia de temperatura y la radiación ultravioleta acababan por dañarla.

Hay que indicar que una carpintería de acero no tiene por qué generar patologías ni presentar grandes problemas térmicos si se proyecta y ejecuta adecuadamente. Véase las grandes carpinterías insertas en los muros cortina de muchos rascacielos en Estados Unidos, que siguen funcionando perfectamente después de muchos años de servicio.

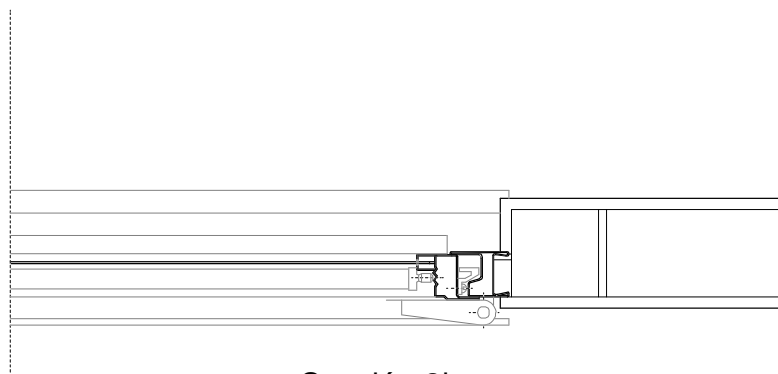
El detalle que puede verse en la siguiente página corresponde a una ventana con una hoja de vidrio simple sujeta en un perfil a tal efecto. La unión entre la carpintería y el cerramiento ha sido ejecutada mediante garras y el marco está directamente asentado sobre el mismo mortero de cemento que se ha utilizado para ejecutar la fábrica.

3



Sección 3v2

Sección 3v1



Sección 3h

#### CASO 4:

Esta solución es la más generalizada en edificios que necesitan una rehabilitación térmica porque es una solución constructiva muy utilizada desde los años setenta hasta casi los noventa del siglo pasado.

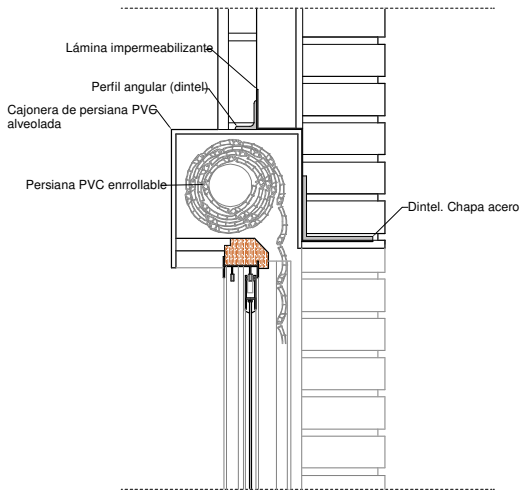
Tenemos un cerramiento de doble hoja de ladrillo caravista con una cámara no ventilada entre las dos hojas. La hoja interior es un tabiquillo de medio pie de ladrillo LH4, siendo también ésta la tipología de particiones más común en la época. El dintel se resuelve mediante la colocación de un perfil de chapa en forma de L que sostiene las hiladas superiores en la hoja exterior y de un perfil laminado también el L que hace lo propio con la interior.

La carpintería es de aluminio simple sin rotura del puente térmico, corredera y con persiana enrollable. El cajón de la persiana está formado a base de placas de PVC alveolado, con un registro interior.

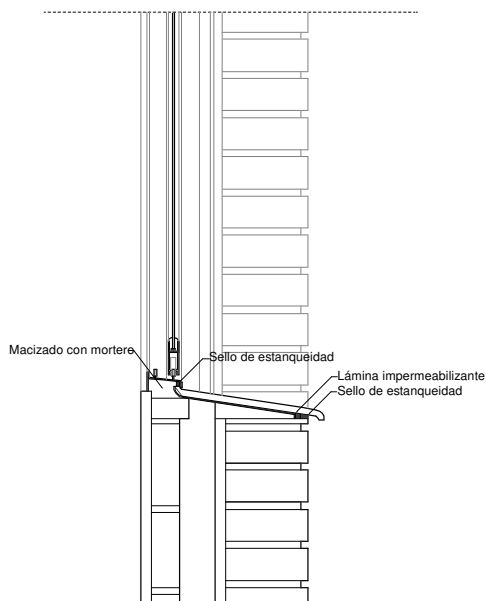
El vierteaguas está resuelto mediante una pieza de piedra artificial que llega hasta la carpintería y se asienta sobre una lámina impermeabilizante que discurre por todo el alfeizar y las jambas. El interfaz entre la carpintería y el muro está macizado con mortero de cemento de albañilería.

La persiana enrollable se instala tanto en los dormitorios como sistema de control lumínico necesario, como en casi el resto de las estancias, así que es un elemento muy común entre las viviendas de esa época. Es fuente de infiltraciones y de puentes térmicos como veremos más adelante.

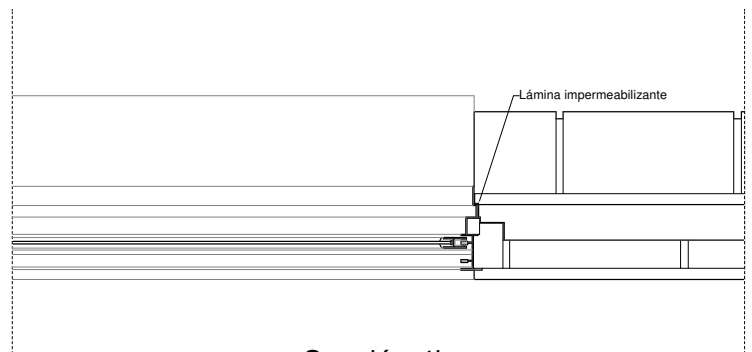
# 4



Sección 4v2



Sección 4v1



Sección 4h

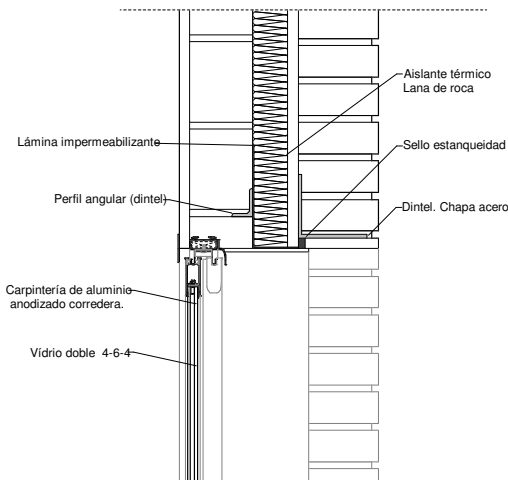
### CASO 5:

En quinto lugar hemos seleccionado un cerramiento parecido al anterior pero esta vez con aislante térmico en la cámara y un tabique interior de mayor espesor (LH9). El aislamiento térmico es de lana de roca, aislamiento muy colocado en fachadas de la época y también actualmente.

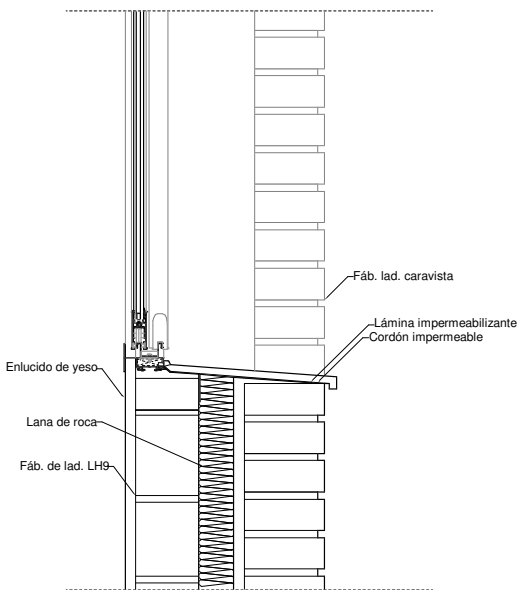
El resto de soluciones constructivas es similar salvo por la ausencia de persiana enrollable. La carpintería cubre todo el dintel mediante una chapa de aluminio, como el resto de la carpintería. Esta chapa cubre el hueco existente entre las dos hojas y el aislamiento y va protegido internamente mediante una lámina asfáltica para evitar el agua.

La carpintería es de aluminio con vidrio doble y cámara, de apertura corredera con premarco anclado a la hoja interna del cerramiento mediante garras. Se apoya en un macizado de mortero de cemento, como es habitual. Todo el telar está cubierto hasta la hoja exterior por la carpintería, proporcionando una impermeabilización extra y la opción de instalar las guías de las persianas correderas en los modelos que la soportan.

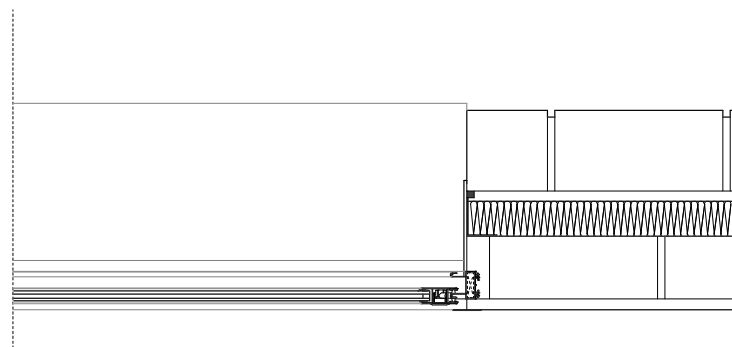
# 5



Sección 5v2



Sección 5v1



Sección 5ha

### CASO 6:

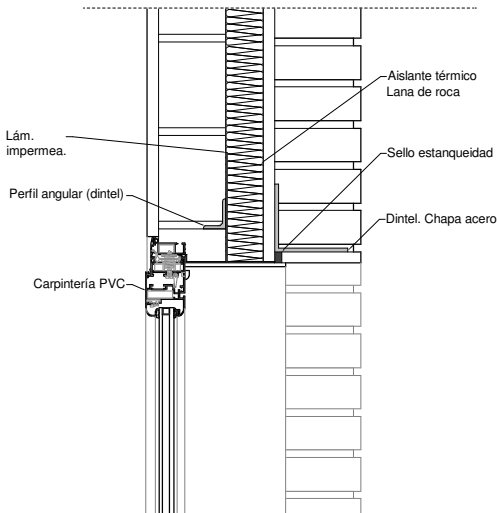
Para poder comparar el sistema del sistema de montaje de la carpintería de aluminio con el de PVC, hemos elegido para este caso un cerramiento idéntico al anterior y hemos incorporado una carpintería distinta. Pretendemos hallar las diferencias de los puentes térmicos entre el interfaz del aluminio y el PVC con el cerramiento.

Esta carpintería es de PVC batiente sin rotura del puente térmico y con un vidrio de doble hoja con cámara intermedia.

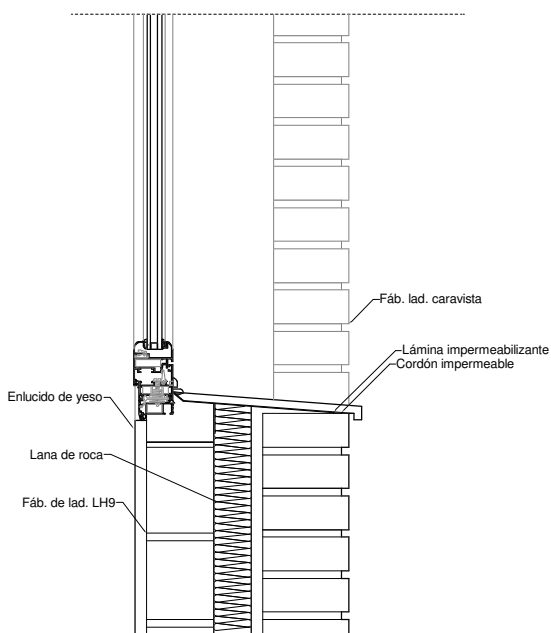
El vierteaguas y los demás detalles son como el anterior pero esta vez en la sección horizontal hemos querido comprobar la influencia de la pieza que cubre el espacio del telar. Esta pieza de PVC le hemos dado un grosor mayor y una cámara intermedia no ventilada, como se aprecia en el dibujo. La imagen del flujo térmico de la simulación nos dirá si es eficaz esta solución respecto a la original.



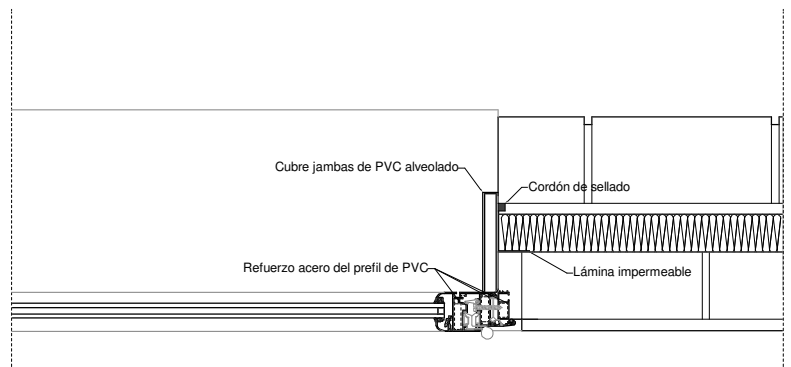
# 6



Sección 6v2



Sección 6v1



Sección 6h

### CASO 7:

Para este caso hemos elegido una moderna carpintería de aluminio con rotura del puente térmico y apertura batiente sobre un cerramiento de doble hoja con aislamiento intermedio de poliestireno expandido y cámara de aire no ventilada.

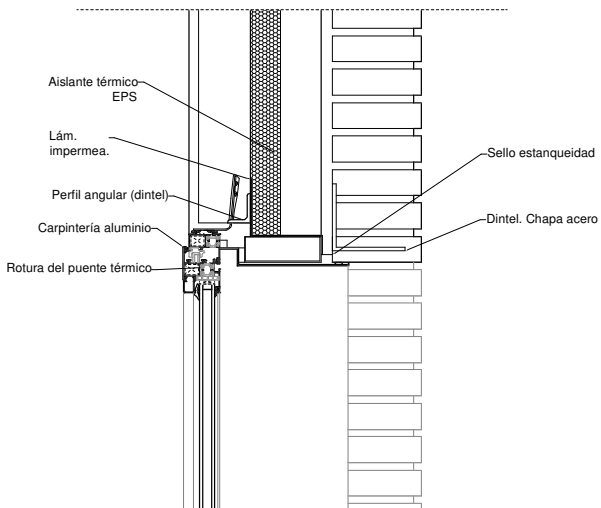
La ventana es una muestra de carpintería moderna y está puesta como se instalan en la actualidad. Tiene un premarco que se pone cuando se está ejecutando la hoja interna y el marco se instala a posteriori mediante tornillos. Tanto el marco como la ventana tienen rotura del puente térmico en forma de bandas que unen las secciones interiores y exteriores y que son mucho menos conductoras térmicamente que el metal. Comprobaremos su funcionamiento en los resultados de las simulaciones.

Podemos ver cómo la ventana ya no se sitúa sobre el vierteaguas sino que se separa de éste mediante una banda aislante y bajo él se sitúa la lámina impermeabilizante y los cordones sellantes. Una parte de la carpintería se posa sobre el vierteaguas para asegurar la impermeabilización.

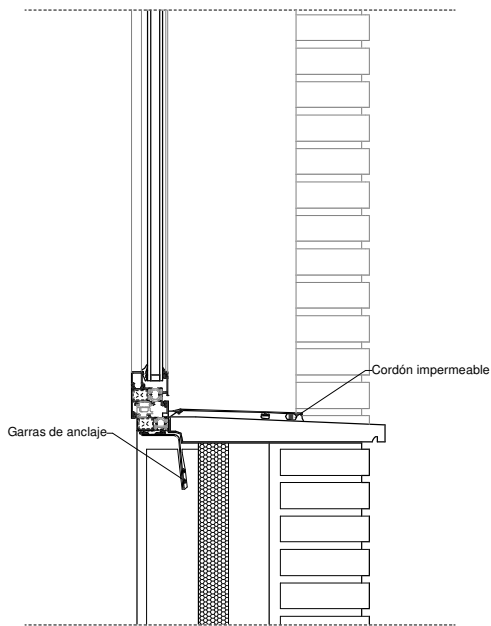
En cuanto al dintel, el hueco entre la cámara y el aislante con el exterior queda protegido y sustentado mediante un perfil de aluminio de sección rectangular, todo ello convenientemente sellado para evitar infiltraciones.

Los senos del premarco también se macizan en este caso con mortero de cemento.

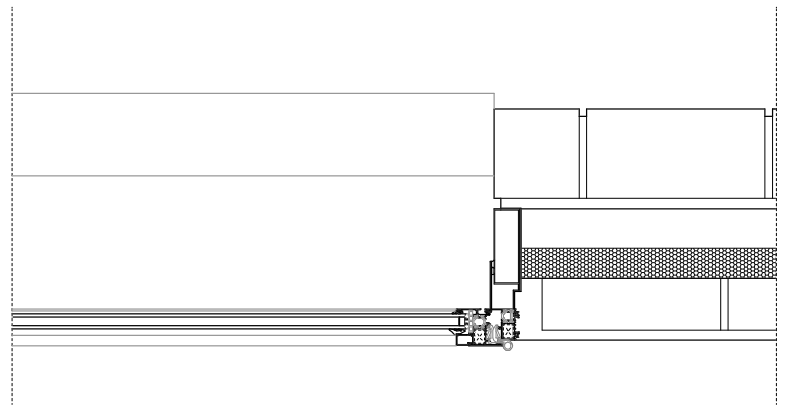
# 7



Sección 7v2



Sección 7v1



Sección 7h

### CASO 8:

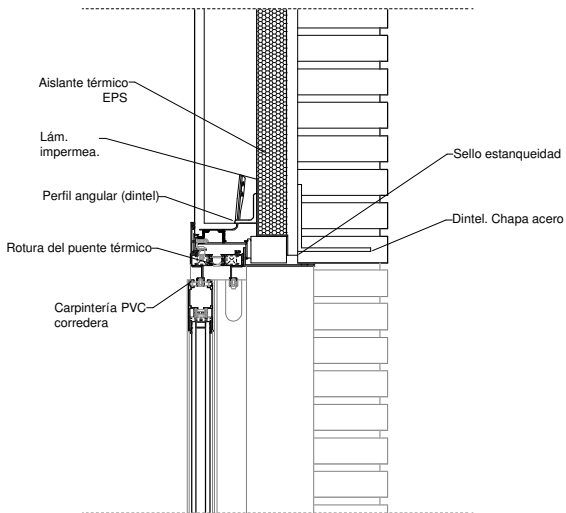
El caso 8 se asemeja intencionadamente al anterior.

El cerramiento propuesto es el mismo que en caso 7 porque queremos comparar con la misma solución de muro, las carpinterías. En este caso hemos instalado una de PVC corredera con rotura del puente térmico.

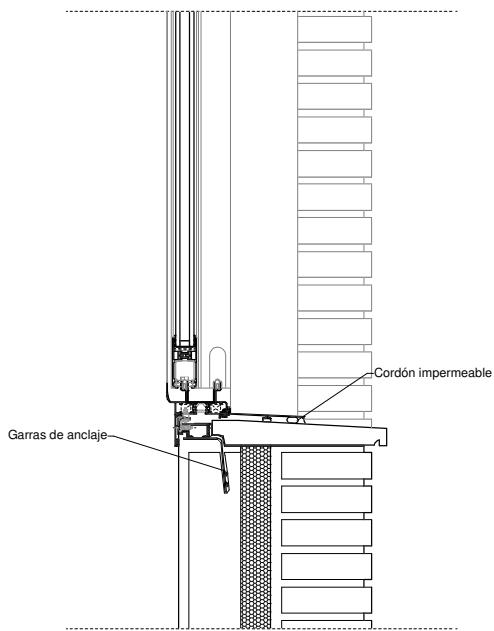
La ventana se asienta en el cerramiento de la misma forma que en el caso anterior, con premarco metálico para soportar los esfuerzos y un marco de PVC atornillado a éste.

La sección horizontal presenta un defecto de colocación intencionado: no hemos prolongado la pieza de carpintería que cubre el telar. La yaga de mortero de la hoja exterior queda expuesta, coincidiendo con la zona del enfoscado de mortero de la parte interior de la hoja. Esto causaría problemas de estanqueidad entre el mortero y la pieza metálica que cierra el hueco del aislante térmico. Hemos querido analizar la incidencia térmica que tendría esta solución y la necesidad o no de cubrir toda la zona del telar con un elemento aislante térmicamente.

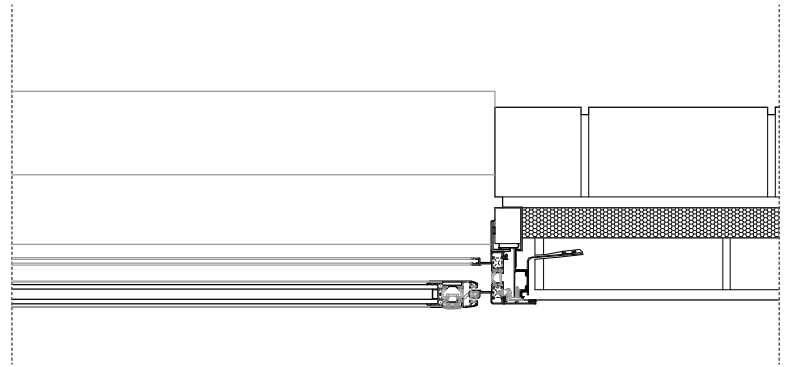
# 8



Sección 8v2



Sección 8v1



Sección 8h

## 6- Resultados de las simulaciones.

Los resultados de las simulaciones térmicas pueden consultarse en las láminas anexas a este trabajo. En ellas podemos ver las secciones de cada caso con vistas del mallado realizado por el programa, sus flujos térmicos en  $W/m^{\circ}K$  y las temperaturas de cada elemento en las condiciones de verano e invierno. Comentaremos en cada caso los flujos térmicos y las temperaturas.

En cada lámina de análisis gráfico podemos ver las escalas tanto de temperatura como de flujo. Las de temperatura van desde  $5^{\circ}C$  a  $21^{\circ}C$  en invierno y de  $25^{\circ}C$  a  $30^{\circ}C$  en verano, coincidiendo con las condiciones de contorno del cálculo.

Para el flujo hemos seleccionado un rango de valores entre 0 y  $60 W/m^{\circ}K$  porque, después de varias pruebas, es el que mejor revela el flujo térmico existente entre el cerramiento y la carpintería, motivo de este trabajo. Esto es así dada la variedad de materiales presente y la alta conductividad térmica de los metales. A partir de  $60W/m^{\circ}K$  la imagen se "quema" en blanco, indicándonos que se ha superado el valor máximo.

No comentaremos por ahora los valores de las variables térmicas porque su objetivo es poder comparar los casos con las soluciones que propondremos más adelante. De todos modos aunque no las mencionaremos en este apartado, han sido calculadas para todos los casos y se encuentran en los anexos. En caso de consulta, téngase en cuenta que el eje válido para el análisis es el Y en todas las secciones.

Recordemos que el flujo térmico se da entre puntos de diferente temperatura y su valor es mayor cuanto más diferencia haya. Influirán pues las conductividades de los materiales próximos y su perpendicularidad a las líneas isotermas.

### 6.1- Discusión sobre los puentes térmicos encontrados.

A continuación explicaremos los puentes térmicos que se descubren al visionar las imágenes de salida de Therm, caso por caso y en cada sección.

#### CASO 1:

En la versión de la carpintería a haces interiores se puede apreciar cómo el puente térmico formado por la carpintería y el cerramiento llega a afectar el intradós del muro. En la sección horizontal se aprecia bien que los picos de flujo se dan en los vértices de la carpintería cuando están próximos al ladrillo. También podemos ver que el encuentro entre el vidrio y la carpintería es un punto crítico.

En la sección vertical se aprecia la unión entre la carpintería y el vierteaguas. Gracias a que la carpintería es de madera en este caso el flujo se detiene y no progresa a través de ella, aunque sí lo hace hasta el trasdós del muro, afectando a la temperatura interior. Se aprecia cómo las llagas de la fábrica inciden, aumentando el flujo a través de ellas cuando sólo existe una hoja de cerramiento. El flujo en el cerramiento es de unos 33 W/m<sup>2</sup>K y cuando nos acercamos a la carpintería aumenta hasta los 50. En la temperatura podemos ver para invierno cómo el cerramiento está a unos 17°C y a unos 13°C cerca de la ventana.

En cuanto a la carpintería de madera, podemos afirmar que es un buen aislante, dependiendo del espesor de las escuadrías, alcanzando una temperatura en el interior próxima a la del contorno.

Del cerramiento hay que decir que una sola hoja es insuficiente para proporcionar aislamiento térmico, de no ser que aumentemos todavía más su espesor. (ver anexo de transmitancias térmicas de los cerramientos propuestos)

A la vista de los datos podemos ver que el mayor puente térmico en este caso es la intersección entre la carpintería, el cerramiento, el vierteaguas y el dintel y que gracias a que la carpintería es de madera no hay una incidencia muy alta en el intradós.

#### CASO 2:

Este es el caso de un cerramiento de fábrica de ladrillo de medio pie con una carpintería de madera, similar a la anterior.

En la sección horizontal podemos ver que hay un pico de flujo en el encuentro de la ventana con el cerramiento, como en el caso anterior. Viendo las temperaturas podemos decir que la zona que más se acerca a las condiciones óptimas es la carpintería, dada la escasa entidad del cerramiento. En este caso las llagas de mortero de la fábrica sí que constituyen un puente entre el exterior y el interior pues el bajo espesor del muro hace que su incidencia en temperaturas sea perceptible.

En las vistas de sección vertical se aprecia un flujo enorme (se sale de la escala y "quema" la imagen de blanco) en el dintel de hormigón armado. El vierteaguas continuo bajo la carpintería también es un puente como en el caso anterior.

Nótese cómo en este caso el vierteaguas y la carpintería se asientan sobre mortero de hormigón. Este mortero de albañilería favorece que el flujo térmico llegue hasta el interior, modificando la temperatura interna.

Este es un caso casi extremo en el que el cerramiento es muy insuficiente y las temperaturas interiores nunca llegan a las exigidas en el contorno. En invierno están en el orden de 14°C cuando deberían estar a 21°C. Éste sería un sujeto deseable para una rehabilitación energética en toda la fachada.

### CASO 3:

Cerramiento de una hoja simple de fábrica de ladrillo de medio pie con una carpintería de acero galvanizado.

En la vista horizontal podemos ver cómo el flujo térmico es muy alto entre los vértices del premarco de acero y el ladrillo. No lo es tanto con el mortero aunque también hay un gran flujo a través de él.

El cerramiento presenta los mismos problemas que en el caso anterior. El dintel de hormigón armado crea un puente entre el interior y el exterior que altera la temperatura superficial del interior en el paramento. Las llagas también presentan problemas de flujo, como en el caso anterior.

La carpintería de acero galvanizado es buena conductora térmica y no posee sistemas de rotura del puente térmico. Además, se ha instalado directamente sobre el muro sin aislantes térmicos y el vierteaguas es metálico y está en contacto con el cerramiento lo que provoca un puente continuo hasta el interior. Las distintas secciones que componen la carpintería forman un sistema de cámaras que ayudan a mantener una temperatura menor que la del exterior en el paramento interior aunque está muy fría comparado con el cerramiento (10°C vs 14°C) aunque como la fábrica de ladrillo de medio pie es también muy deficiente, la diferencia no es tanta.

Aún así, el valor de la transmitancia medio en cada sección es menor que en el caso anterior que tenía la carpintería de madera. Hay que tener en cuenta que las transmitancias medias (U2D) que ofrece el programa no deben utilizarse para comparar modelos distintos. Este es un caso en el que se ve claramente; el elemento con mayor transmitancia siempre será el vidrio pues tiene una superficie mayor que la carpintería. En el caso de la carpintería de acero, como la sección analizada tiene una superficie de carpintería mayor que de vidrio la transmitancia media es menor que en el caso anterior, donde la carpintería de madera tenía más vidrio, a pesar de que la conductividad de la madera es mucho menor.



#### CASO 4:

Estamos en el caso del cerramiento de los hojas con cámara no ventilada y persiana enrollable.

En la imagen del flujo de la sección horizontal se aprecia cómo la forma de cerrar la cámara de aire es clave para asegurar el aislamiento térmico. El perfil de aluminio de las jambas es muy conductor y transmite el calor a la cámara con mucha facilidad. Esto podría crear condensaciones en la cámara de aire, con la consiguiente aparición de manchas y humedades. También se puede ver cómo la continuidad de la carpintería facilita la transmisión de la energía térmica en ambos sentidos.

En la sección vertical inferior se puede ver cómo la carpintería está asentada sobre mortero de cemento y un ladrillo. El ladrillo corta el flujo entre el mortero y la carpintería aunque el macizado con mortero del marco crea otro puente. Se puede ver que las llagas transmiten la energía entre la cámara y las dos hojas, sobre todo la interior que tiene menos masa y no está enfoscada.

En la sección vertical superior se identifica la caja de persiana enrollable. Al estar abierta al exterior y formar una cámara muy ventilada el flujo de calor es muy alto. La temperatura de la caja en el interior de la estancia es muy diferente a la del paramento. Los perfiles utilizados para crear el dintel también conducen el calor hacia la caja de persiana y entre la caja y el interior. La caja de persiana está formada por unas planchas de PVC alveolado que forma cámaras en su interior y contribuyen a aislarla pero es insuficiente. Quizá la inclusión en el modelo de la persiana hubiera añadido más masa de PVC y hubiera reducido el puente en la caja pero hemos querido modelar el caso más desfavorable.

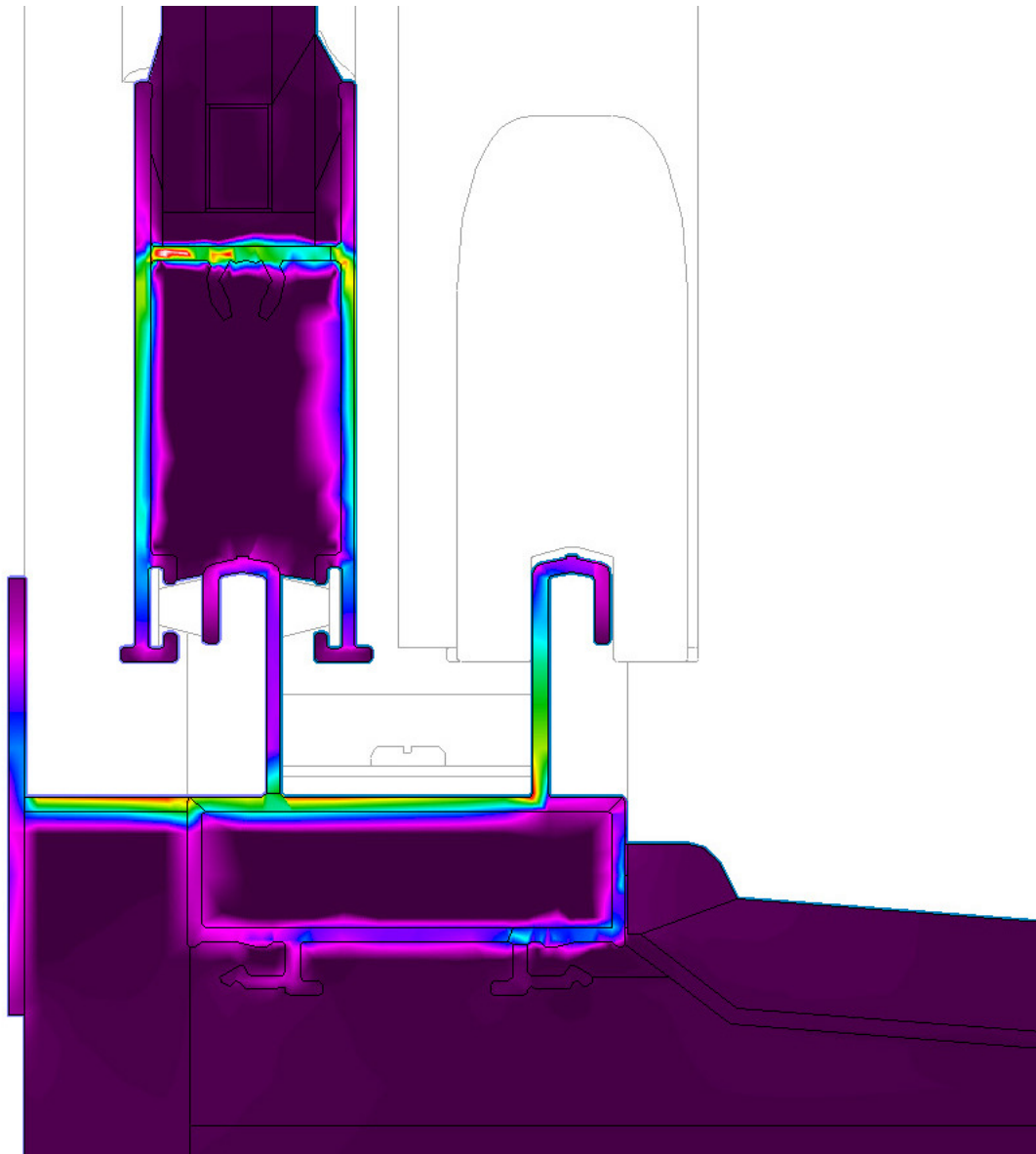
#### CASO 5:

Es el caso de una ventana corredera de aluminio sobre cerramiento de doble hoja con aislamiento térmico.

En la vista horizontal podemos ver que el puente térmico que se crea entre la carpintería y la hoja interior es el mayor de todos. Hace que la temperatura del paramento interior que debería ser de 21°C sea de 10°C en las zonas cercanas al marco de la ventana.

En las vistas verticales también lo podemos apreciar. En el cerramiento se puede ver la eficacia de la cámara con aislamiento térmico (lana de roca). El flujo que llega desde el exterior a través de las juntas de mortero no tiene continuidad hacia la hoja interior. La mayor reducción de temperatura se da en la capa aislante.

Como puente térmico en sección vertical se aprecia la estructura metálica del dintel. Es importante también la chapa que cubre el hueco en la zona del dintel ocultando la separación entre capas, creando un puente cuando se une al mortero de cemento.



**Detalle: Sección vertical. Flujo térmico de la carpintería con el exterior**

En la imagen superior se muestra el flujo térmico dentro de la carpintería en sección vertical. Se ha ajustado la escala del flujo para resaltar el aluminio (0-5500 W/m<sup>2</sup>). Se advierte la continuidad entre en interior y el exterior. En una carpintería de apertura corredera la zona con menor temperatura en el interior es el raíl de la hoja por su bajo espesor y alta conductividad.

### CASO 6:

En este caso hemos mantenido el cerramiento y hemos cambiado la carpintería por otra de PVC con apertura batiente sin rotura del puente térmico.

El principal puente térmico se da, como en el caso anterior, en la intersección entre la carpintería y el cerramiento, por la alta conductividad del mortero de cemento y la unión con la ventana. La pieza del vierteaguas al estar apoyada sobre el mortero también se une al puente. Aunque el PVC tiene menor conductividad que el aluminio también forma un puente con el cerramiento. Sobre todo porque el premarco es de metal porque tiene que resistir las acciones de la ventana.

Las carpinterías de PVC necesitan una estructura interna para soportar los esfuerzos. Esta estructura es muy conductora y, si no está provista con rotura del puente térmico, empeora la conductividad del conjunto.



Detalle: Sección horizontal. Estructura interna de una carpintería de PVC. Flujo térmico

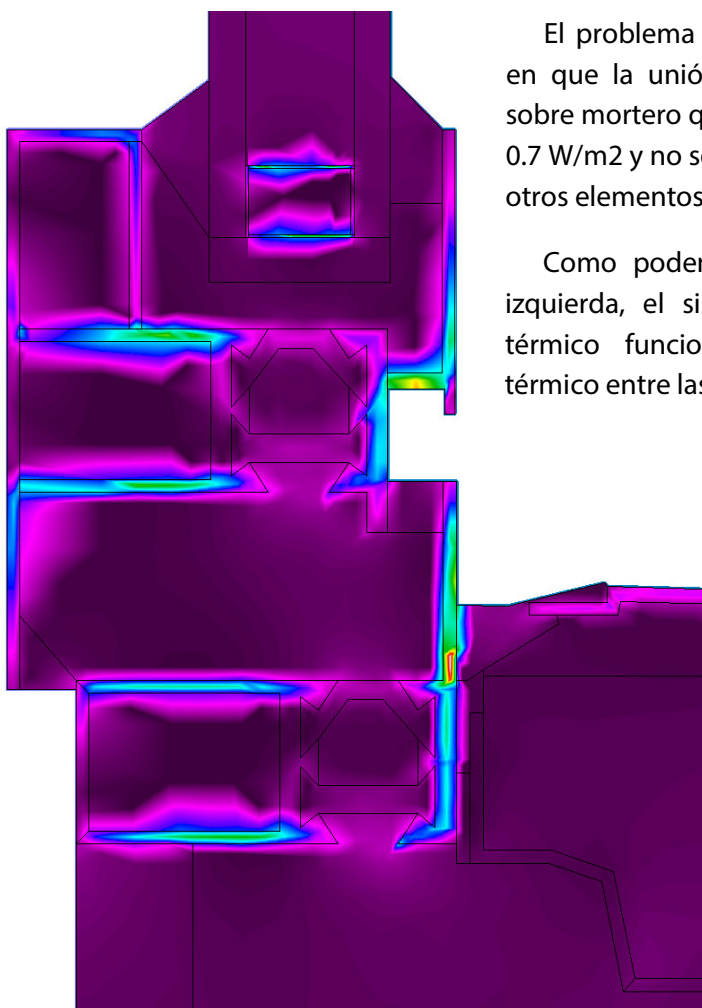
Sobre estas líneas: Detalle en sección horizontal del flujo térmico en la estructura metálica de una carpintería de PVC. Las líneas de flujo son perpendiculares a las isotermas.

#### CASO 7:

Tenemos una carpintería batiente de aluminio con rotura del puente térmico sobre un cerramiento de doble hoja con cámara no ventilada y aislante térmico EPS.

En este caso el puente térmico se concentra en el mortero que sustenta la carpintería en el cerramiento. Además, el gran vierteaguas introduce calor en el puente anterior. En la sección horizontal vemos la influencia que tiene la pieza que cierra la cámara y el aislante. Es necesario aislar esta para que no transmita la energía a la cámara y a la carpintería.

Esta es una buena solución constructiva porque el cerramiento proporciona una buena protección frente a los puentes y está bien aislado y la carpintería tiene calidad suficiente para incluir una solución a sus propios puentes.



El problema está como en los otros casos, en que la unión de la carpintería se realiza sobre mortero que tiene una conductividad de  $0.7 \text{ W/m}^2$  y no se separa convenientemente de otros elementos lineales como el vierteaguas.

Como podemos ver en la imagen de la izquierda, el sistema de rotura del puente térmico funciona interrumpiendo el flujo térmico entre las dos caras de la ventana.

Detalle: Sección vertical: Rotura del puente térmico en ventana de aluminio

### CASO 8:

En este caso hemos suprimido la cámara no ventilada del cerramiento para comprobar la eficiencia de ésta. El caso a analizar es idéntico al anterior en el cerramiento salvo esta característica. Además, hemos cambiado la carpintería por una de PVC pero corredera, con rotura del puente térmico.

En sección horizontal se aprecia el puente que forma el mortero con el premarco. Aunque en menor medida que con las carpintería metálicas, el puente con el PVC sigue en el mismo lugar. Además, el premarco que va sostenido por las garras es metálico. En este caso la parte de la carpintería que cubre el telar tiene poca longitud y entidad, haciendo que esté peor protegida térmicamente y frente a humedades.

En sección vertical vemos cómo ha empeorado el puente del vierteaguas con solo una pequeña pellada de mortero que sostiene la pieza metálica sobre él. Los senos del premarco también han sido macizados con mortero y ello crea el puente bajo la ventana.

Respecto a la carpintería, al ser corredera la peor temperatura interior se da en el raíl de ésta. También es problemático el premarco y el tapajuntas de la sección vertical. La gran cámara hueca de la hoja que alberga las ruedas se ha modelado como una cámara ligeramente ventilada y aparece en los resultados como un espacio con gran flujo. Esto podría variar si se cambia el criterio. A falta de mediciones he elegido ligeramente ventilada.

## **7- Soluciones a los puentes térmicos.**

Una vez expuestos los sujetos de estudio y explicadas sus características térmicas y comportamiento procederemos a exponer las soluciones que hemos analizado para cada tipo de puente. Una vez expuestas gráfica y textualmente las propuestas, se expondrán los resultados de dichas soluciones y se discutirán.

### **7.1- Condiciones y materiales utilizados.**

Las soluciones a los puentes térmicos serán analizadas mediante el programa Therm de la misma con el mismo procedimiento y materiales expuesto en la primera parte del trabajo. Como entonces, el listado de materiales y propiedades térmicas se encuentra en el anexo de este trabajo.

### **7.2- Justificación de las propuestas elegidas.**

A continuación expondremos las soluciones a los puentes térmicos que analizaremos con posterioridad. Iremos caso a caso justificando las elecciones tomadas para cada uno.

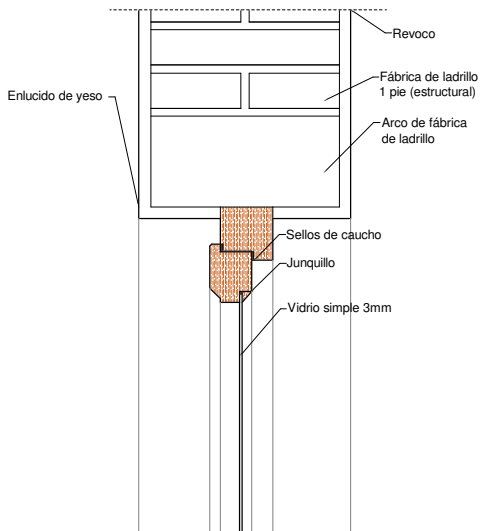
#### SOLUCIÓN 1a: Haces intermedias vs haces exteriores

En la primera solución hemos querido comprobar la influencia de la instalación de la carpintería a haces intermedias, es decir, instalándola en mitad del cerramiento y no en el interior como es costumbre.

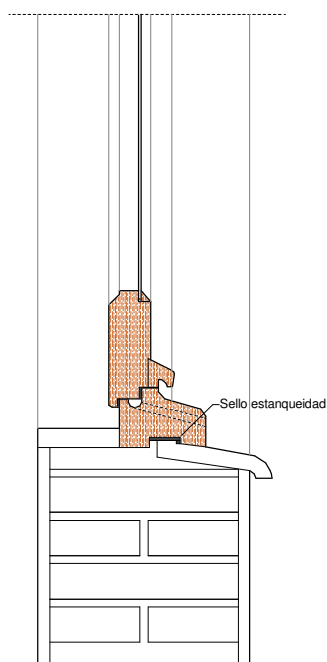
Hemos elegido ponerla en el centro y no en el exterior porque es una tipología del norte que casi no se da en España. Situar una carpintería al interior tiene ventajas sobre el exterior; es más fácil que la cornisa o el dintel creen una sombra para que el sol no entre directamente en la estancia y además la ventana queda más protegida de la lluvia y la escorrentía de la fachada. Situar la ventana a haces exteriores hace que la estancia se ilumine mejor con luz natural pero requiere una mejor impermeabilización.

Mediante este análisis comprobaremos qué solución se comporta mejor térmicamente.

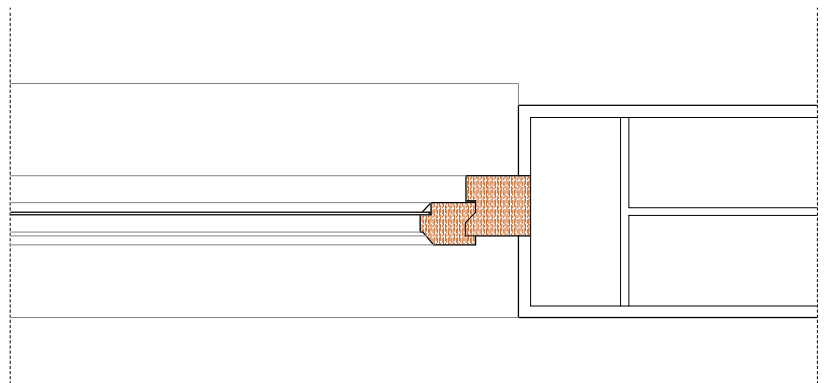
# SOL1a



Sección 1v2a



Sección 1v1a



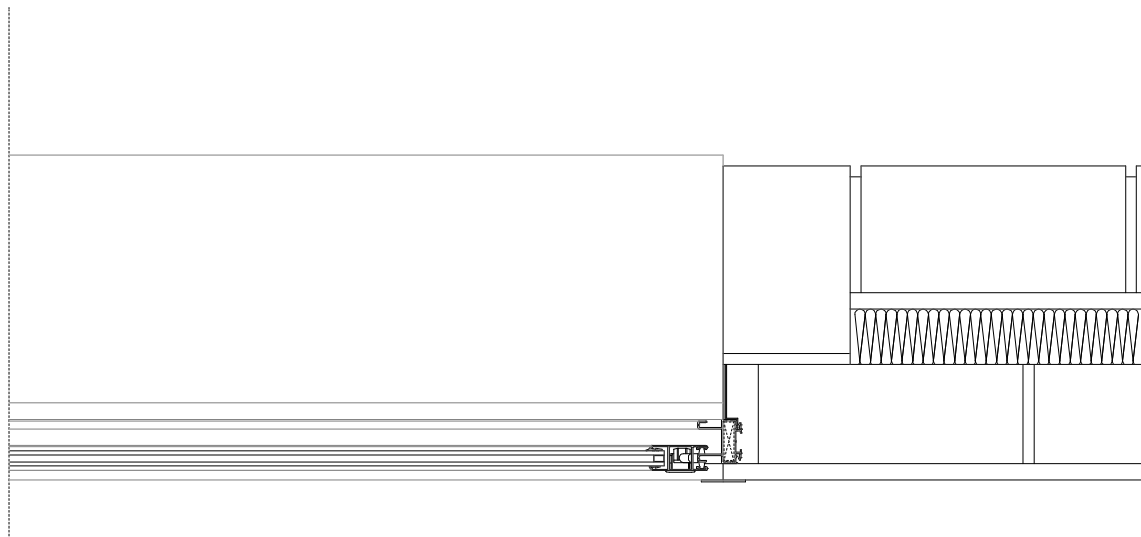
Sección 1ha

### SOLUCIÓN 1b: Comprobación de la influencia térmica de las jambas aparejadas

Durante la fase de modelado sentimos curiosidad sobre esta solución constructiva y si afectaba o no al rendimiento térmico de una fachada.

Trabar la fábrica exterior de ladrillo en los huecos está considerado un error de ejecución y debe evitarse porque conecta la hoja exterior con la interior y facilita la entrada de humedades y filtraciones. En este caso analizaremos si influye también creando un puente térmico entre la fábrica exterior y la interior.

## SOL1b



## Sección 5hb



### SOLUCIÓN 2: Doblado del vidrio de la carpintería mediante la adición de otra hoja.

En esta solución estudiaremos una opción poco utilizada en la rehabilitación. Se trata de la adición de otro acristalamiento sobre el existente por el interior. A la carpintería de madera se le añade una hoja nueva consistente en un pequeño perfil que puede ser de plástico o de madera que soporta un vidrio nuevo. Esta solución se clava por el interior a la anterior.

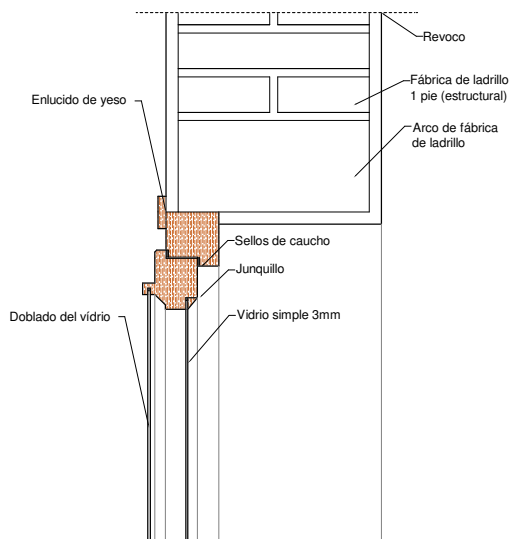
El espacio entre los vidrios debe ser estanco para ser considerado una cámara y que el acristalamiento funcione de forma conjunta. Por ello la nueva hoja, además de estar adherida o clavada a la anterior, tiene una junta elástica que puede ser neopreno para asegurar la unión íntima entre la ventana y la solución

Esta puede ser una solución para la rehabilitación energética de edificios con alguna protección en la fachada pues no cambia el aspecto exterior del cerramiento ni de la carpintería.

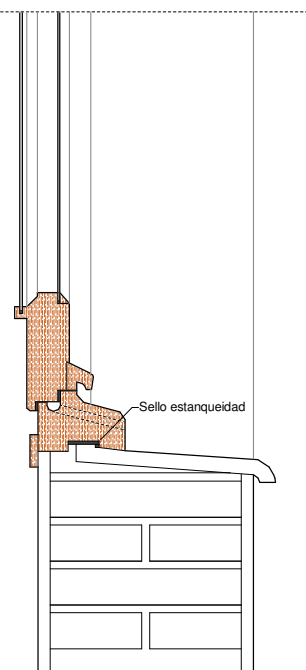
Un posible problema sería la instalación sobre carpinterías que tienen contraventanas, siendo necesario eliminarlas para instalar el nuevo acristalamiento.

Por supuesto, cuanto mejor sea el vidrio nuevo la mejora será mayor. Tengamos en cuenta que la mayor parte del hueco de las carpinterías es el vidrio y las características térmicas de éste son las que más influyen en el hueco.

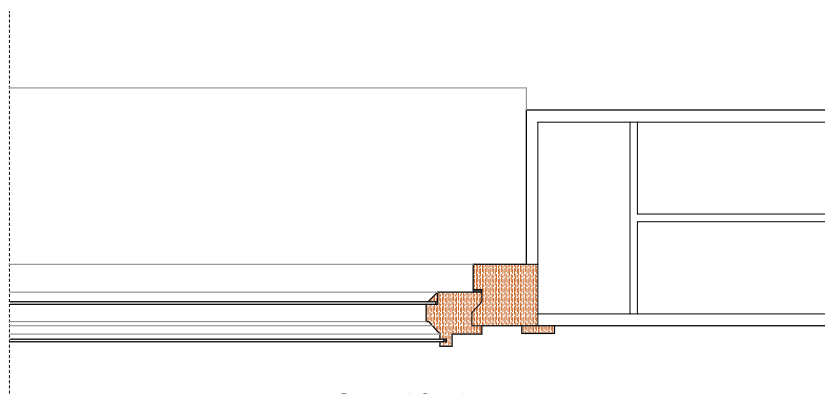
# SOL2



Sección v2b



Sección v1b



Sección h

### SOLUCIÓN 3: Adición de una nueva hoja en el cerramiento por trasdós.

Continuando con la hipótesis de un edificio de fachada protegida, para un edificio con un cerramiento de una sola hoja la mejor opción es la de trasdosar una nueva hoja aislada térmicamente. De esta forma no se altera la configuración visual exterior pero al añadir aislamiento las características térmicas del cerramiento aumentan notablemente.

El problema es que se reduce la superficie útil de las estancias afectadas por el cerramiento.

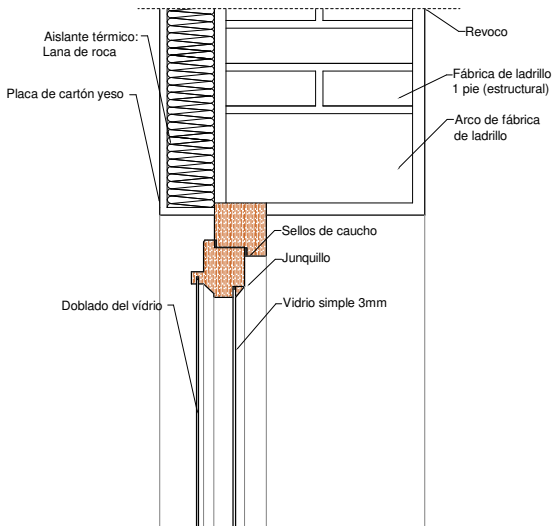
Partiendo de cerramiento de fábrica de ladrillo de un pie de espesor, añadimos una capa de aislante térmico de lana de roca de 60mm de espesor y la cerramos mediante una placa de cartón-yeso de 15mm.

Vista desde el interior ahora la carpintería parece rehundida en el cerramiento. Podríamos cambiarla de sitio y situarla sobre la nueva hoja pero habría que crear una estructura que la sustentase y también cambiar el vierteaguas. En resumen, que tendríamos que cambiar el aspecto externo, incumpliendo la premisa inicial de fachada protegida.

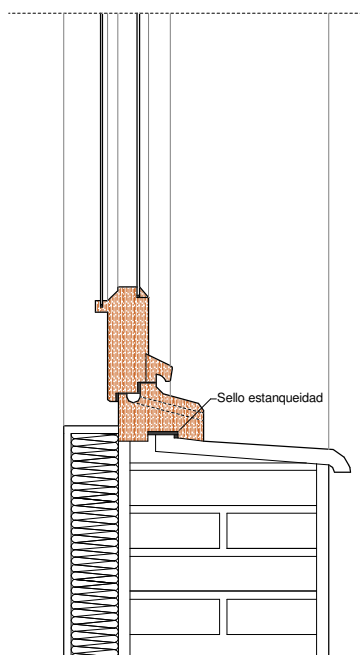
Otro problema es la intersección con las particiones internas que, o bien crean discontinuidades en la nueva hoja con el correspondiente puente térmico, o bien necesitan ser intervenidas para separarlas de la fachada.

La nueva fachada tendrá mejor aislamiento térmico pero perderá la inercia térmica que poseía en el interior: costará menos tiempo y energía calentar o enfriar la estancia mediante sistemas activos pero ésta permanecerá a la temperatura deseada durante menos tiempo una vez desconectados.

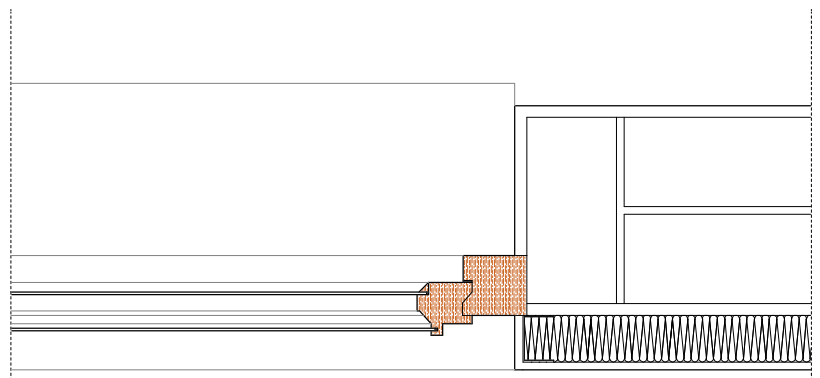
# SOL3



Sección v2b



Sección v1b



Sección h

#### SOLUCIÓN 4: Adición de aislamiento por el exterior.

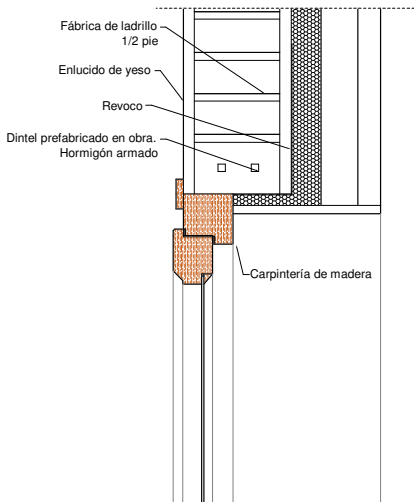
A la fachada de fábrica de ladrillo de medio pie de espesor y ventana de madera le añadiremos una nueva hoja con aislante y cámara ventilada por el exterior. Esta solución es la que se conoce como "fachada ventilada".

La nueva adición consta de una capa de aislamiento de poliestireno expandido de 40mm, una cámara de aire ventilada de 50mm y un aplacado de piedra de 30mm de espesor.

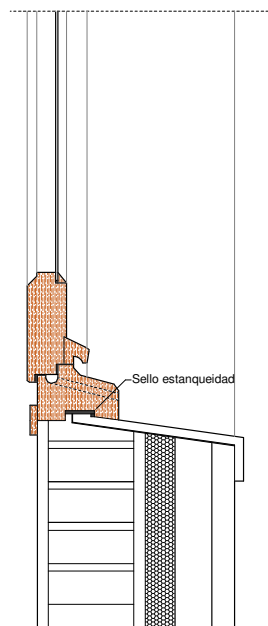
El vierteaguas queda con la misma configuración inicial aunque se advierte que al cambiar de sistema de fachada, debería ser cambiado también por otro más eficiente. No se ha hecho el cambio porque hubiera sido necesario también un cambio de carpintería por lo que no quedaría elemento alguno con el que comparar la solución con el caso inicial de estudio; sería una tipología totalmente nueva. (no quedaría ningún puente térmico de los originales). Es de esperar que los puentes térmicos sigan en el mismo sitio pero que se minimice su influencia.

Como veremos más adelante, esta solución es muy eficaz pues cubre toda la fachada, no quita superficie útil en el interior y no interfiere con las particiones ni las instalaciones.

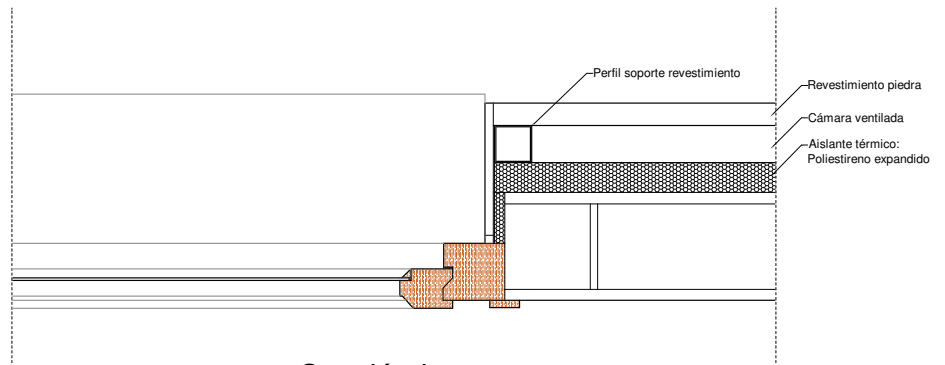
# SOL4



Sección v2



Sección v1



Sección h

### SOLUCIÓN 5: Inyección de espuma de poliuretano en cámara no ventilada

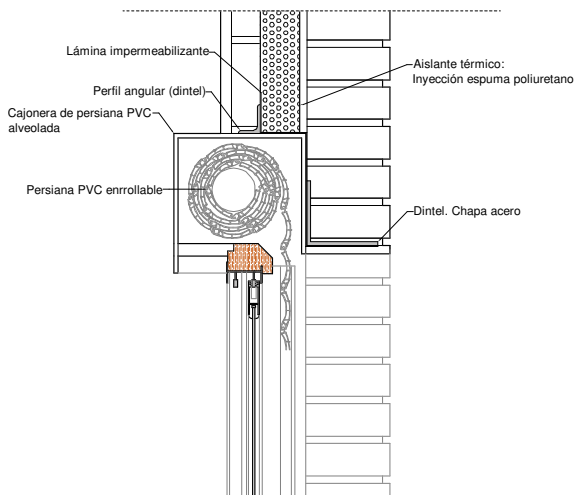
En esta solución vamos a inyectar espuma de poliuretano en el sujeto del caso 2, es decir, en un cerramiento de doble hoja formado por una externa de medio pie de ladrillo cara vista, enfoscado de mortero, cámara ventilada, tabiquillo de LH4 y enlucido de yeso (según especificaciones de la tabla de la sección 5- análisis de los datos).

Como decíamos, vamos a inyectar espuma de poliuretano en la cámara de 50mm de espesor. Este proceso debe hacerse con una empresa especializada. Se puede inyectar desde el exterior o desde el interior. Desde el exterior se realizan perforaciones en el cerramiento a tresbolillo y con una distancia de medio metro aproximadamente, hasta la cámara. Como el equipo de bombeo puede ser de gran tamaño se aconseja hacerlo desde el exterior, además de ahorrarse las molestias a los vecinos del inmueble.

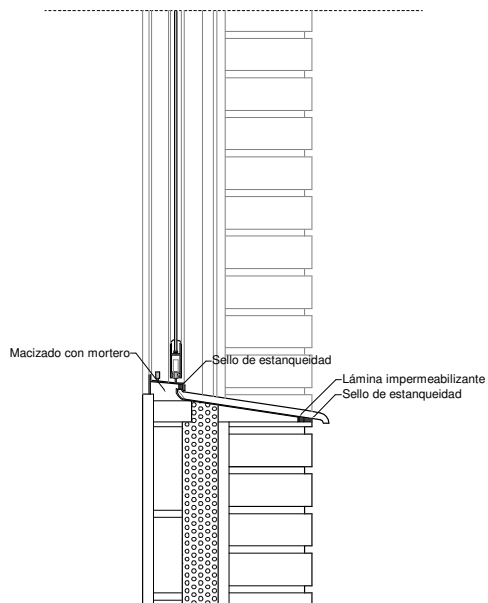
La espuma de poliuretano es expansiva y si se ejecuta su inyección de manera correcta, cubre todos los huecos de la cámara. Puede ocurrir que durante la ejecución de la cámara los sobrantes del mortero de la hoja interior hubieran caído en el fondo, formando un puente térmico e impidiendo que la espuma fuera eficaz en esa zona.

Como decíamos, la espuma es muy expansiva y hay que tener cuidado porque la presión a la que somete el paño de la hoja interior (la más débil) puede hacer que fisure y se combe o incluso que se venga abajo. Esto ocurre en fábricas de poco espesor (como es el caso) y en paños con pocos huecos, mucha superficie o sin particiones que arriostren la hoja. Es por esto por lo que la empresa debe ser especializada y con experiencia en el uso de esta técnica.

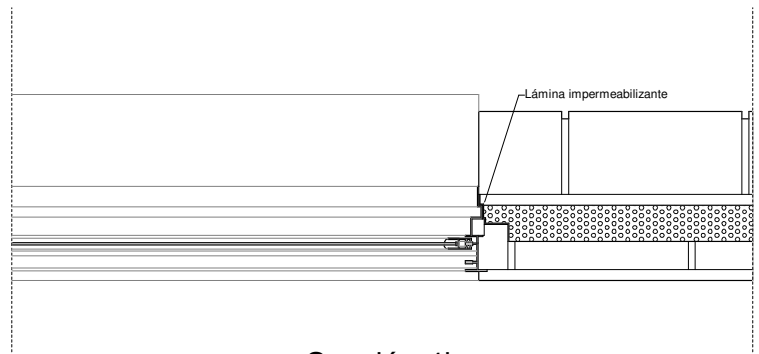
# SOL5



Sección 4v2



Sección 4v1



Sección 4h



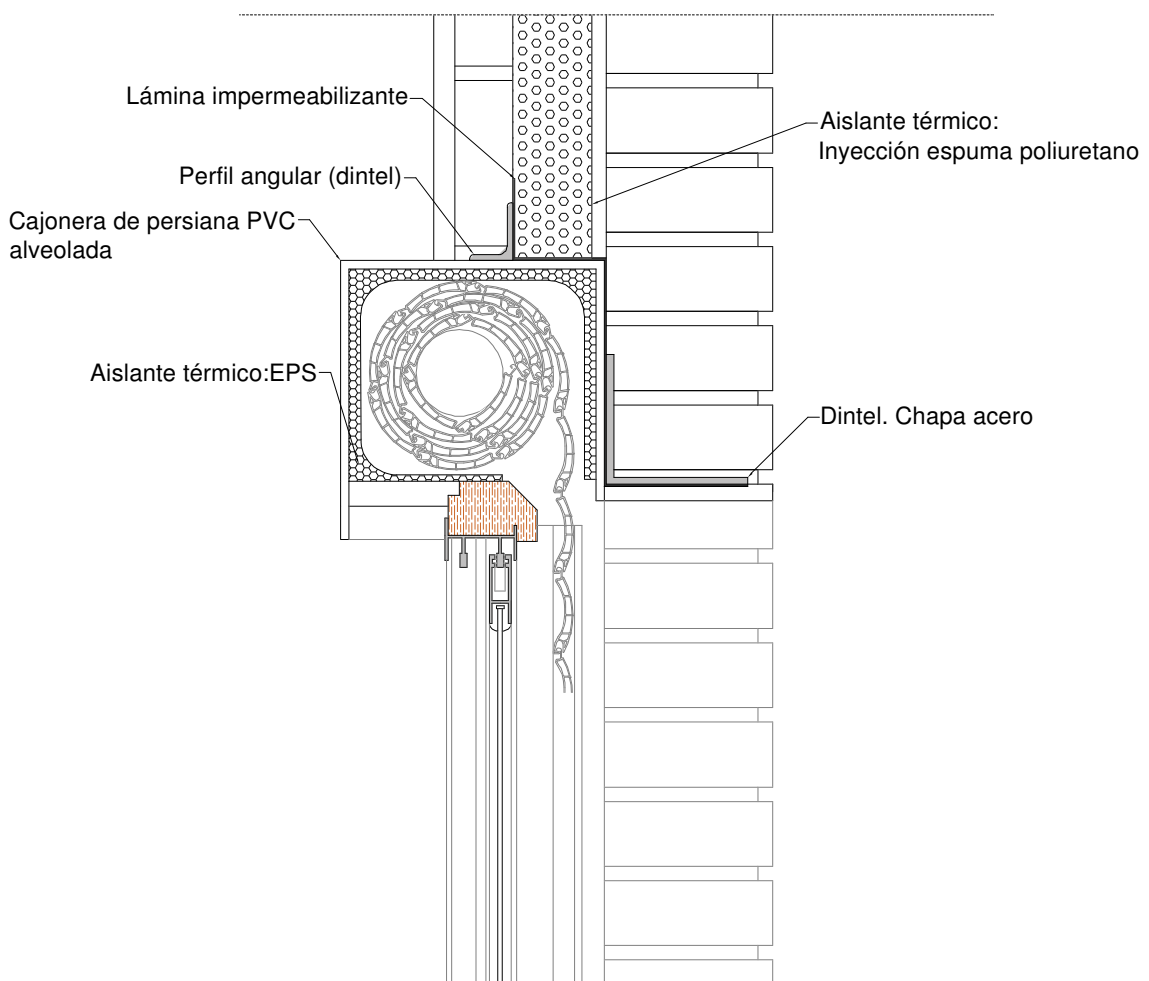
### SOLUCIÓN 6: Solución anterior + aislamiento de la caja de persiana

Vamos a comprobar el rendimiento del aislamiento térmico en una caja de persiana. Partiendo del caso anterior en la vista de sección vertical a la altura del dintel, colocaremos unas planchas de poliestireno expandido adheridas a la caja de persiana y con la forma precisa para no interrumpir el funcionamiento de la carpintería. Estas planchas tienen un espesor medio de 8mm aunque se les puede dar forma para adaptarlas al hueco entre la caja y la persiana.

Esta es una opción de reducción de puente térmico muy barata y fácil de ejecutar desde el interior, accediendo a la caja mediante la tapa de registro. La adhesión de las planchas de EPS debe hacerse mediante adhesivos compatibles con este material porque de lo contrario podría caer e interrumpir el funcionamiento de la persiana. Si se desea aislar el fondo de la caja de persiana, que linda con la hoja exterior del cerramiento, se deberá desmontar el cilindro completo de la persiana para poder acceder a él.

Con el poliestireno expandido se esperan mejoras térmicas pero no acústicas.

## SOL6



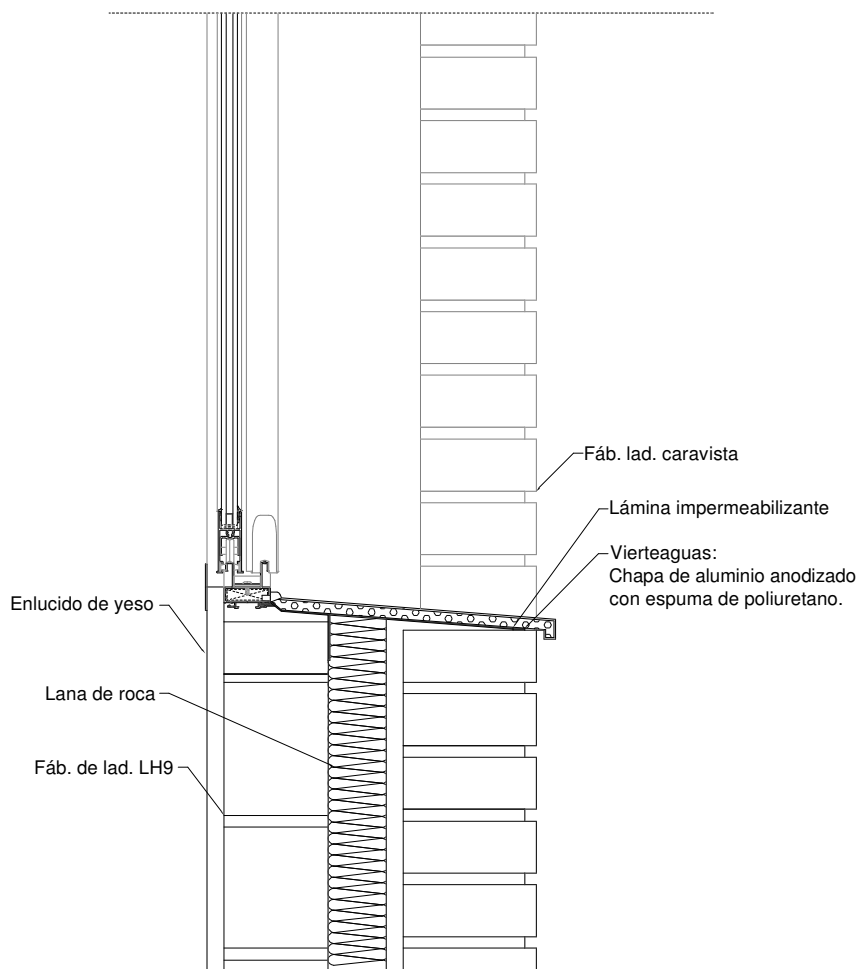
### SOLUCIÓN 7: Sustitución de pieza de vierteaguas por otra con aislamiento térmico

Vamos a proceder a la mejora del puente térmico entre el cerramiento, la ventana y el vierteaguas cambiando éste último. Partiendo de el caso 5 teníamos una fachada de doble hoja de ladrillo cara vista con cámara con aislante de lana de roca y hoja interior de ladrillo LH9. El dintel era de una pieza de piedra artificial que llegaba hasta casi la carpintería, no formando directamente un puente térmico con ella pero sí a través de la hoja interior.

Para la mejora del vierteaguas hemos confeccionado uno metálico como la carpintería que se pone en el lugar del anterior. Este vierteaguas puede ser una chapa plegada inyectada con poliuretano o con cualquier otro aislante térmico. Los únicos puentes entre la chapa que queda al descubierto y la que queda en contacto con el cerramiento serán los puntos que sea necesario rigidizar en el interior del vierteaguas para mantener la forma.

Hay que prever una junta que interrumpa el flujo térmico entre el dintel y la carpintería.

## SOL7



### Sección 5v1

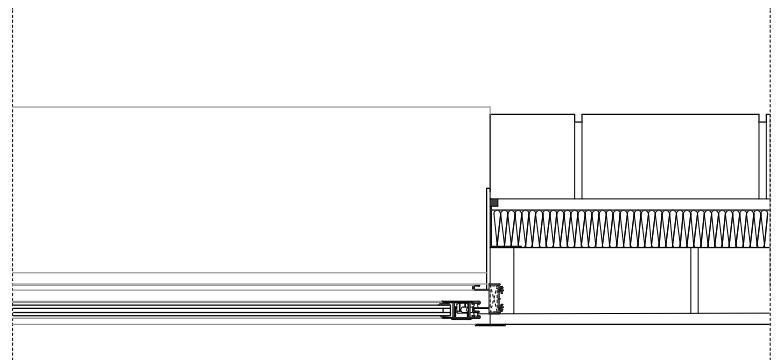
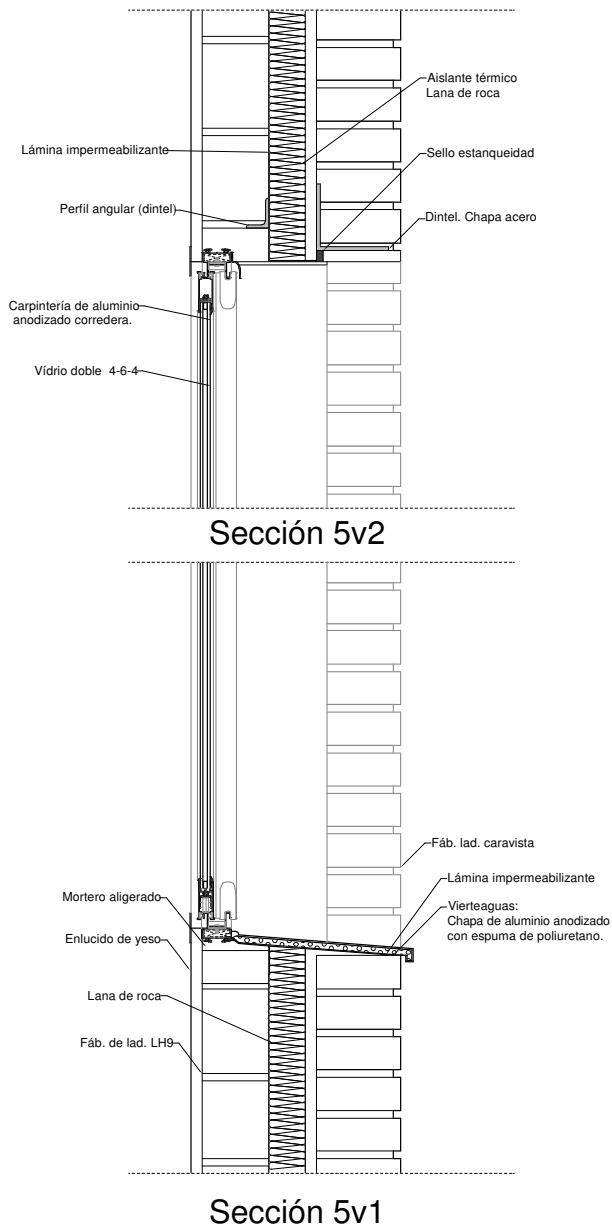
### SOLUCIÓN 8: Mortero de agarre del macizado del premarco.

Actuaremos sobre la solución anterior para intentar paliar el puente térmico que ocurre entre los premarcos y el mortero de cemento en el que generalmente se agarran a la hoja del cerramiento.

Como es habitual, los premarcos se suelen asentar sobre el mismo mortero que se usa en las fábricas y que tiene una conductividad térmica bastante alta,  $0.7\text{W/mK}$ , bastante superior a la de los ladrillos cerámicos, que está en torno a los  $0.35\text{ W/mK}$ . El mortero de albañilería tiene la propiedad de admitir deformaciones, capacidad por la cual es correcto su uso para rellenar el premarco pero hay que tener en cuenta que su conductividad relativamente alta

El uso de otros tipos de mortero como los aligerados podría paliar este puente, aunque no cancelarlo completamente. Sus conductividades están en el orden de los  $0.4\text{ W/mK}$ . Estos morteros con áridos aligerados deben cumplir con los requerimientos mecánicos para la instalación de las ventanas. Las ventanas van sujetas con garras (ver detalle constructivo en el anexo) pero si el premarco se asienta sobre un mortero inestable pueden aparecer grietas con el uso. De utilizarse esta solución debería asegurarse este punto.

# SOL8



Sección 5ha

### SOLUCIÓN 9: Ampliación del marco para cubrir el telar

Aplicaremos esta solución en el caso 7 en su vista horizontal.

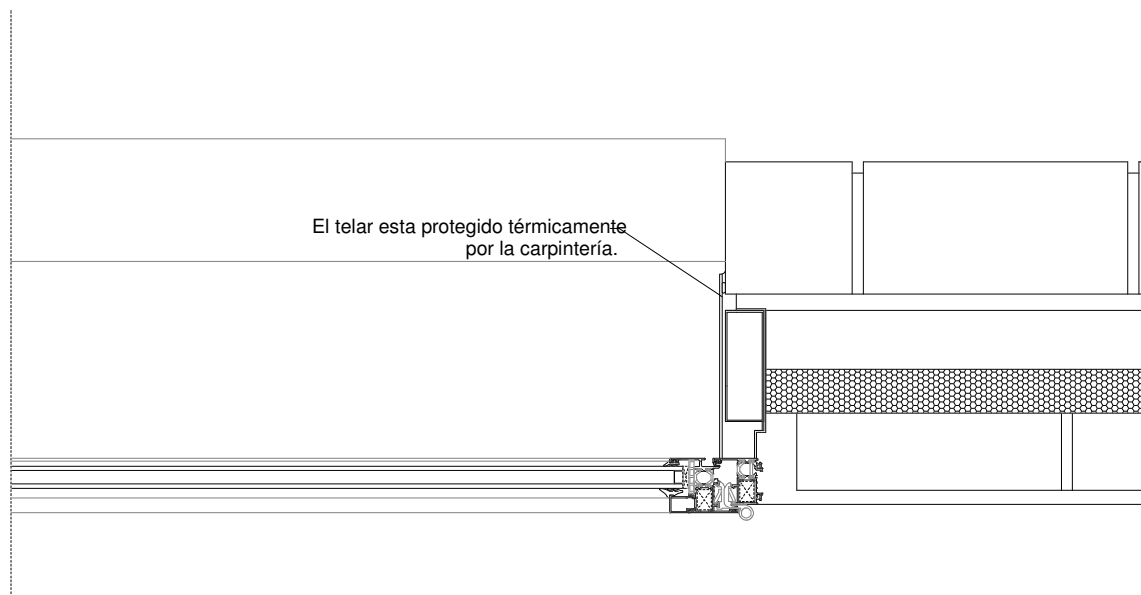
Como podemos ver en el caso 7, la carpintería no protege lo suficiente el telar y hay un puente térmico entre el mortero de revestimiento de la hoja exterior, la cámara y la pieza de carpintería.

Pretendemos dilucidar si con la sola extensión de la carpintería( sin añadir un elemento aislante) es suficiente para paliar este puente térmico.

Por supuesto, lo mejor sería que la carpintería tuviera una pieza hueca con aislante intermedio, como el vierteaguas que hemos visto en la solución 7. Pero lo que queremos comprobar es si la longitud de esta pieza del telar es influyente en el puente térmico y si la cobertura o no de esta zona en el cerramiento es necesaria o conveniente para la mejora térmica.

Esta sección también muestra un perfil muy común que se instala en la jamba, entre las dos hojas, para anclar parte de la carpintería y cerrar el hueco de la cámara o del aislante. Esta pieza constituye un puente térmico importante si cierra una cámara no ventilada pero si ésta está rellena de aislamiento el puente queda muy limitado.

## SOL9



## Sección 7h

### SOLUCIÓN 10: Adición de lámina de poliuretano entre marco y premarco

La presente solución pretende comprobar la eficacia de la instalación de una lámina de poliuretano entre el marco y el premarco. Esta instalación debe realizarse durante el montaje de la carpintería. Es una solución similar a la que se utiliza en sistemas comerciales como "Posaclima".

Estamos actuando sobre el caso 8.

La lámina de poliuretano se deforma al ponerla pero se endurece. Es una lámina delgada por estar presionada por las dos piezas pero debería ser suficiente para romper el puente térmico. Como el espesor de la lámina depende de las piezas de marco y premarco, hemos estimado un espesor medio de 10mm

### 7.3- Exposición y análisis comparativo de los resultados de las simulaciones.

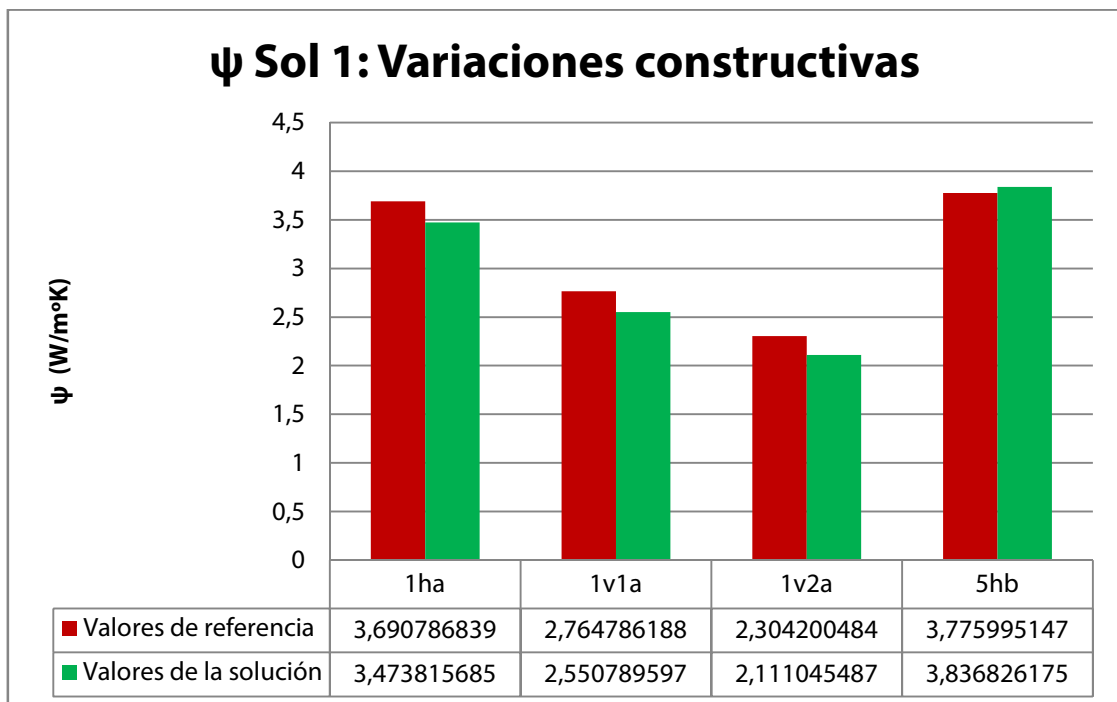
#### SOLUCIÓN 1a: Fachada de haces intermedias vs haces interiores.

Comparando las imágenes tanto térmicas como del flujo podemos afirmar que la profundidad a la que se instala la carpintería tiene una influencia notable en la temperatura del paramento interior.

El puente térmico entre la ventana y el cerramiento es el mismo en los dos casos. Está formado por la unión entre la madera y el ladrillo y en ambos casos alcanza el mismo flujo térmico. La diferencia está en que en el caso en el que se sitúa la ventana en medio del cerramiento el flujo se dispersa en éste y no llega casi al paramento interior. Esto proporciona una diferencia de temperaturas en torno a la carpintería en el paramento interior de unos 4°C o 5°C tanto en régimen de invierno como en verano.

El puente entre la ventana y el vierteaguas es prácticamente el mismo en los dos casos. Sucede como en el puente entre ventana y cerramiento, el flujo se contiene en éste y no llega a afectar en la misma cantidad al habitáculo interior. La diferencia de temperaturas tanto en sección vertical como horizontal es la misma.

El valor de fRSI pasa de unos 0.4 a 0.35, con lo que no hay casi diferencia en este parámetro. Esto nos dice que aunque la temperatura es más baja en la solución de haces intermedias, el pico más desfavorable no disminuye ostensiblemente.



En el gráfico anterior se pueden ver los valores de transmitancia térmica lineal para las secciones. Vemos una reducción significativa de sus valores para todas las vistas. (La 5hb pertenece a la solución siguiente).

### SOLUCIÓN 1b: Jambas trabadas en la fábrica de la hoja exterior

Recordemos que esta "solución" es una tipología constructiva incorrecta y que puede conllevar patologías, como hemos explicado anteriormente.

Comparando visualmente las imágenes térmicas y de flujo podemos decir que el puente térmico creado entre las dos hojas en la zona de la jamba casi no afecta a las temperaturas interiores. El aumento de flujo es significativo entre el ladrillo que une las dos hojas pero ello no se traduce ni en una variación grande de temperatura ni del flujo entre el paramento interior y el resto de las hojas.

Los valores de fRSI son muy similares en ambas tipologías (0.26 - 0.28). Los valores de la transmitancia a térmica lineal también lo son aunque muestran un empeoramiento de unos 0.06 W/m<sup>2</sup>K (ver gráfica anterior).

Por todo lo anterior, se desaconseja utilizar esta tipología constructiva también por motivos térmicos, aunque no sea por una gran diferencia.

### SOLUCIÓN 2: Doblado del vidrio mediante la adición de otra hoja por el interior:

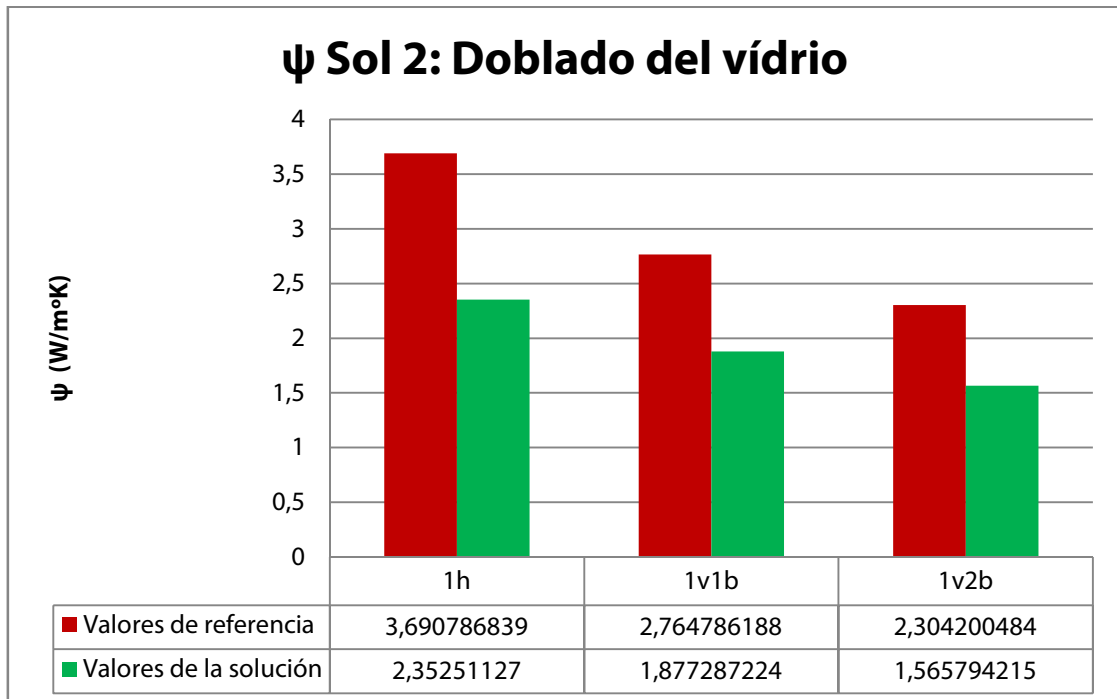
Mediante la adición de otra hoja conseguimos mejorar el aislamiento térmico de la carpintería pero no estamos afectando a los puentes térmicos, que siguen siendo los mismos: el encuentro del marco con el cerramiento y con el vierteaguas.

En las imágenes térmicas se aprecia cómo la temperatura del paramento es la misma después de aplicar los cambios. El flujo también continúa siendo el mismo y localizado en los mismos puentes.

Analizando los valores de las variables térmicas vemos que hay una diferencia de unos 0.18 en fRSI. Esto sucede porque el valor más bajo de temperatura en este modelo se localiza justo en el encuentro entre el vidrio y la carpintería. Al estar mejor aislado el vidrio interior y tener una temperatura más cercana a la de contorno el valor de este punto disminuye, bajando el fRSI.

En cuanto a la transmitancia térmica lineal ( $\psi$ ), se incrementa en una media de 1 W/m<sup>2</sup>K siendo la sección horizontal la que más mejora.





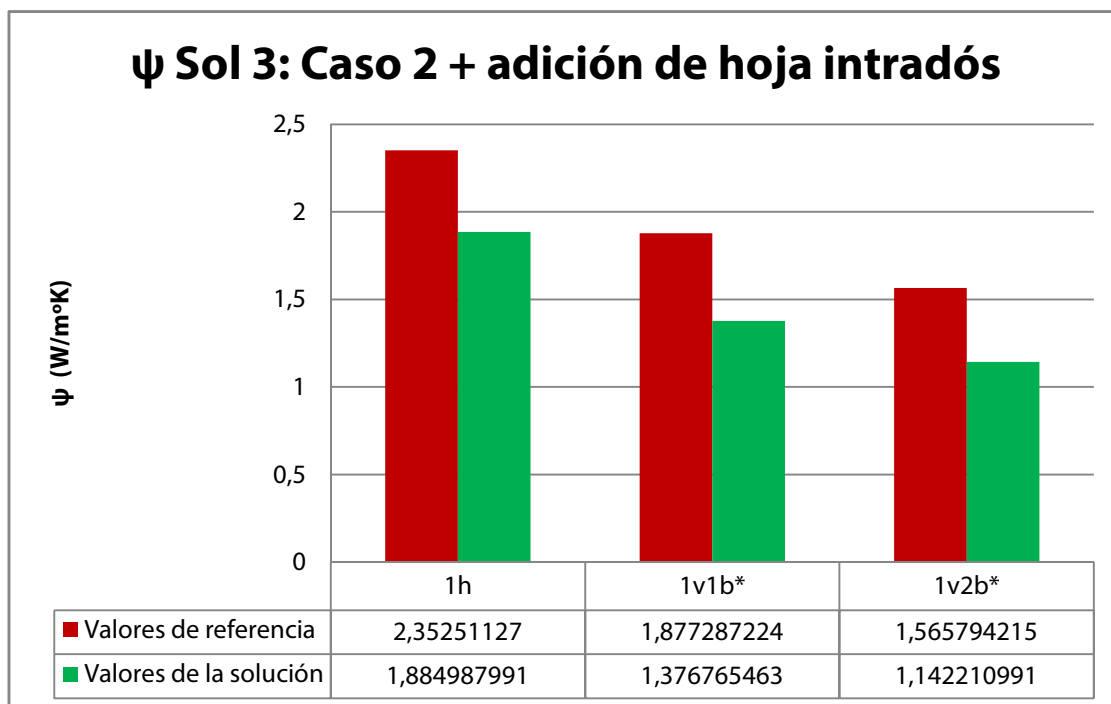
### SOLUCIÓN 3: Adición de nueva hoja al cerramiento por el intradós.

Comparando la solución 3 con la solución anterior podemos ver qué sucede cuando se añade una nueva hoja formada por una placa de cartón-yeso con aislante térmico en la cámara que forma con el cerramiento antiguo.

Como podemos ver en las láminas, la solución parece ser muy eficaz. El puente térmico que formaba la carpintería con el cerramiento se ve amortiguado también por el aislante térmico, de manera que las temperaturas se ajustan en el paramento interior casi a las condiciones de contorno marcadas, con una variación de unos 6°C. Se aprecia cómo la capa aislante presenta la mayor parte del gradiente térmico, demostrando su eficacia.

En cuanto a los parámetros térmicos la transmitancia térmica lineal baja unos 0.46 W/°K de media para todas las vistas. Es una reducción significativa después de cambiar el sistema de vidrios.

El fRSI aumenta unos 0.8 puntos. Recordemos que el fRSI tiene en cuenta los valores mínimos en invierno de la superficie interior del cerramiento. Este valor se suele localizar en la carpintería por lo que un aumento aunque sea pequeño es muy bueno porque significa que la mejora del cerramiento afecta incluso a la peor zona de la carpintería.



#### SOLUCIÓN 4: Adición de una nueva hoja por el trasdós.

Para un edificio en el que no hay ningún tipo de restricción en cuanto al cambio visual de la fachada, este es un buen sistema para incrementar las capacidades térmicas del edificio sin afectar al espacio interior. Añadiendo una nueva hoja por el exterior permite envolver el edificio con aislante térmico.

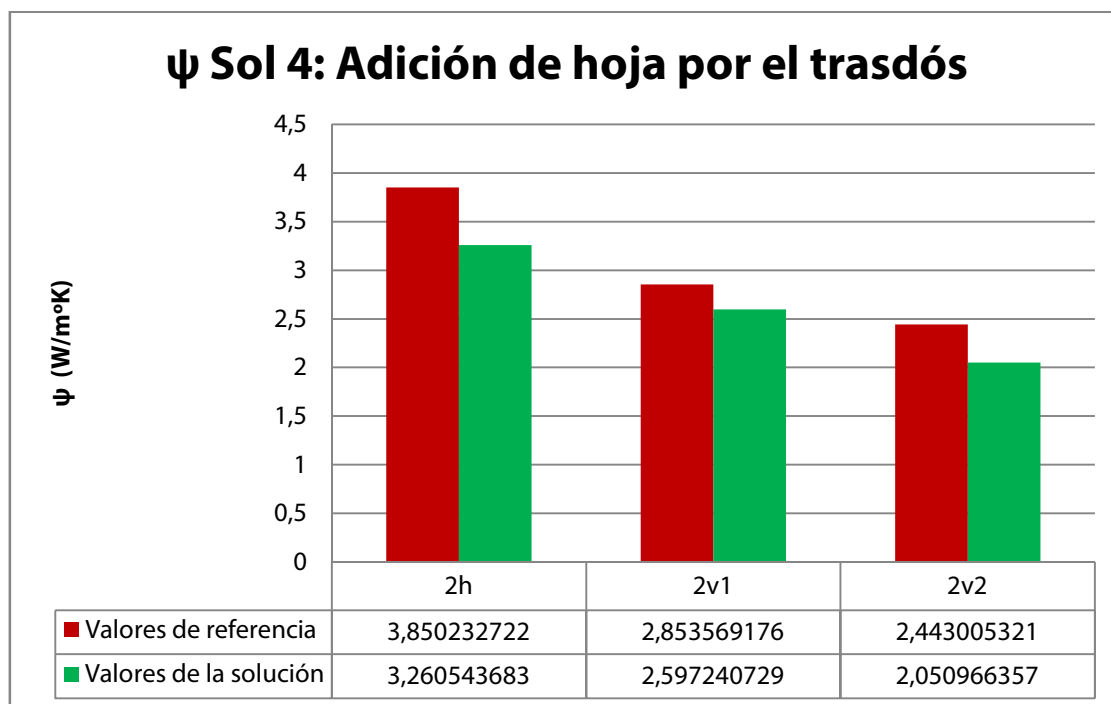
Esta solución aplicada al caso 2 (fachada de fábrica de ladrillo de medio pie) incrementa de forma espectacular el comportamiento de la fachada. Pasa de tener una transmitancia (medida según el CTE) de 2.74 W/m<sup>2</sup>°K a otra de 0.66 W/m<sup>2</sup>°K.

En cuanto a los puentes térmicos, el mantenimiento de la carpintería original continúa generando los mismos puentes con el cerramiento y con el vierteaguas aunque la incidencia en el paramento interior se ve muy amortiguada por el incremento de las capacidades del cerramiento. El puente que constituía el dintel de hormigón armado sigue ahí pero el flujo térmico es mucho menor.

Con esta medida la temperatura media del paramento en invierno, con las condiciones de contorno que establecimos en la simulación, pasa de unos 17°C hasta los 19 de media.

El factor térmico superficial permanece inalterado porque la carpintería que es la que tiene la temperatura más baja en el interior permanece inalterada.

En cuanto a la transmitancia térmica lineal, hay una diferencia media de unos 0.4 W/m<sup>2</sup>°K.



Sobre estas líneas podemos ver el decremento de la transmitancia térmica lineal en las vistas analizadas. Se aprecia la disminución al incrementar la transmitancia de la fachada.

#### SOLUCIÓN 5: Inyección de espuma de poliuretano en cámara no ventilada.

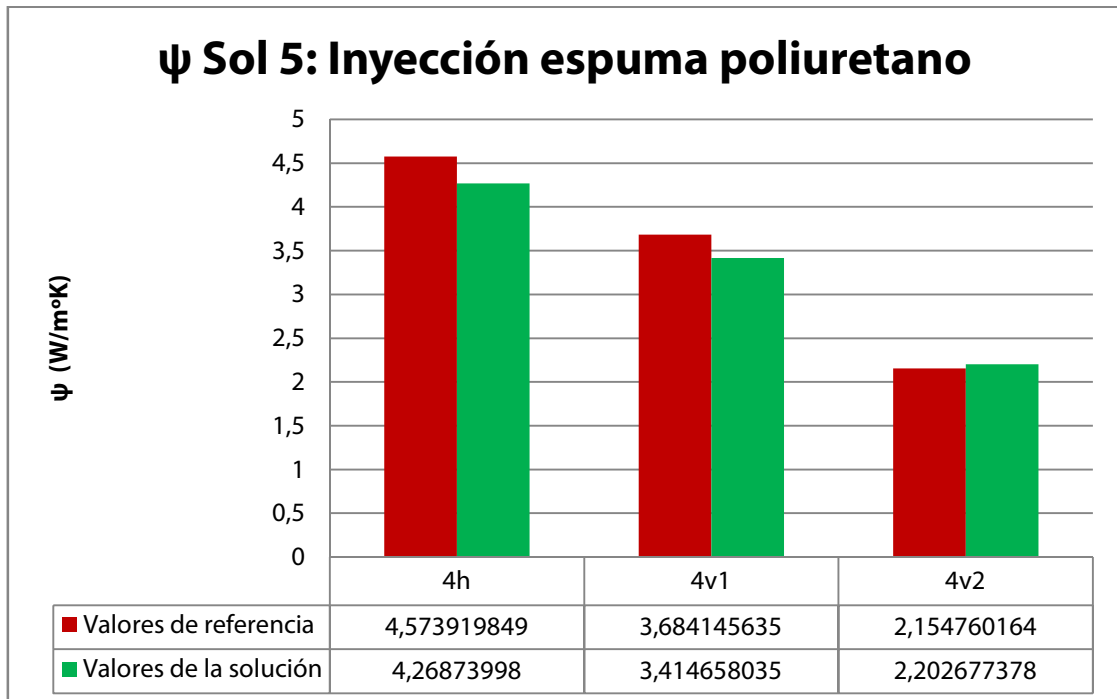
Partiendo del caso 4 consistente en un cerramiento de fábrica de ladrillo cara vista de doble hoja separada por una cámara no ventilada, inyectamos espuma de poliuretano con las precauciones anteriormente citadas.

Lo primero que podemos apreciar en las imágenes anexas es el decremento de flujo entre la hoja exterior y la cámara inyectada. Ahora la cámara deja de conducir el calor a través de ella por estar repleta de aislante térmico. En la vista del flujo térmico horizontal se aprecia notablemente que el flujo de las llagas del cerramiento se mejora, así como el comportamiento general.

Los puentes térmicos entre la caja de persiana, el vierteaguas y el cerramiento continúan estando ahí pero se reducen ligeramente.

La temperatura del paramento interior en invierno mejora notablemente. Pasa de unos 18°C hasta 21°C, alcanzando los valores asignados a las condiciones de contorno interiores.

La transmitancia del cerramiento pasa de 0.97 W/m<sup>2</sup>°K a 0.48 W/m<sup>2</sup>°K. En cuanto a la transmitancia térmica lineal, esta mejora ligeramente salvo en la vista vertical superior.



El aumento de la transmitancia térmica lineal en 4v2 (la vista de la caja de persiana) es de unos 0.05 W/m²K. Esto no sucede con la L2D, que se mantiene casi igual que en el modelo. El aumento de la transmitancia térmica lineal se puede explicar porque la mayor parte de esta vista es una caja de persiana que ha sido calculada como una cámara muy ventilada. Como ya dijimos anteriormente, hay que desconfiar de la precisión de los resultados cerca de los contornos de una cámara que da al exterior. Además, para vistas muy complejas como es el caso no se puede confiar en la precisión de un parámetro lineal

En este caso confiaremos en el análisis visual que nos dice que las condiciones siguen inalteradas antes y después de inyectar la espuma, aunque la temperatura mejora conforme nos vamos alejando del puente de la caja de persiana en el paramento interior.

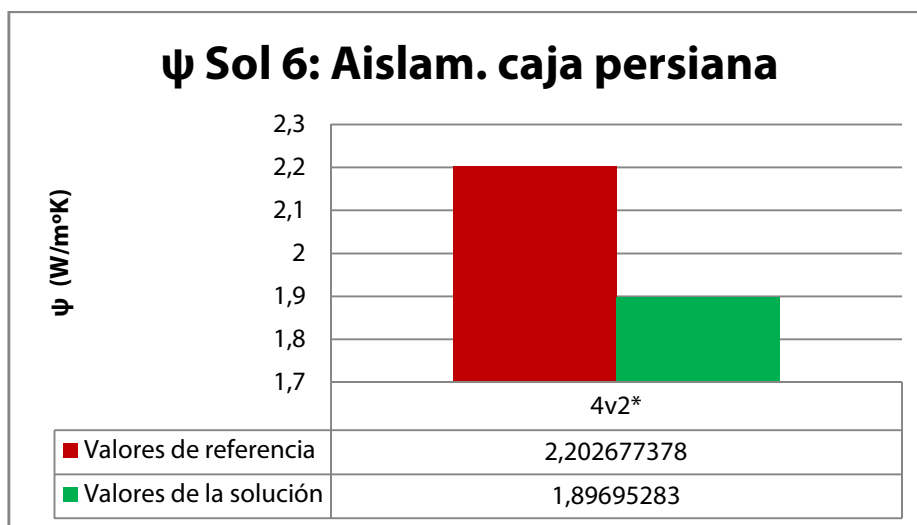
### SOLUCIÓN 6: Solución anterior + aislamiento en la caja de persiana.

Comentaremos solo la vista de la caja de persiana porque las otras permanecen inalteradas.

Después de la adición del aislamiento térmico se puede apreciar la reducción del flujo térmico en los puentes formados por el dintel metálico y la caja de la persiana, tanto el dintel de la hoja exterior como el interior. La carpintería permanece a la misma temperatura y no se ve alterada.

Las temperaturas del paramento interior se elevan hasta casi las requeridas en la condición de contorno, con una diferencia de unos 5°C en el punto más desfavorable de la caja de la persiana.

En cuanto a los parámetros térmicos, hay una diferencia de 0.3 W/m°K en la transmitancia térmica lineal y el factor de temperatura superficial permanece inalterado por los motivos expuestos en la solución anterior.



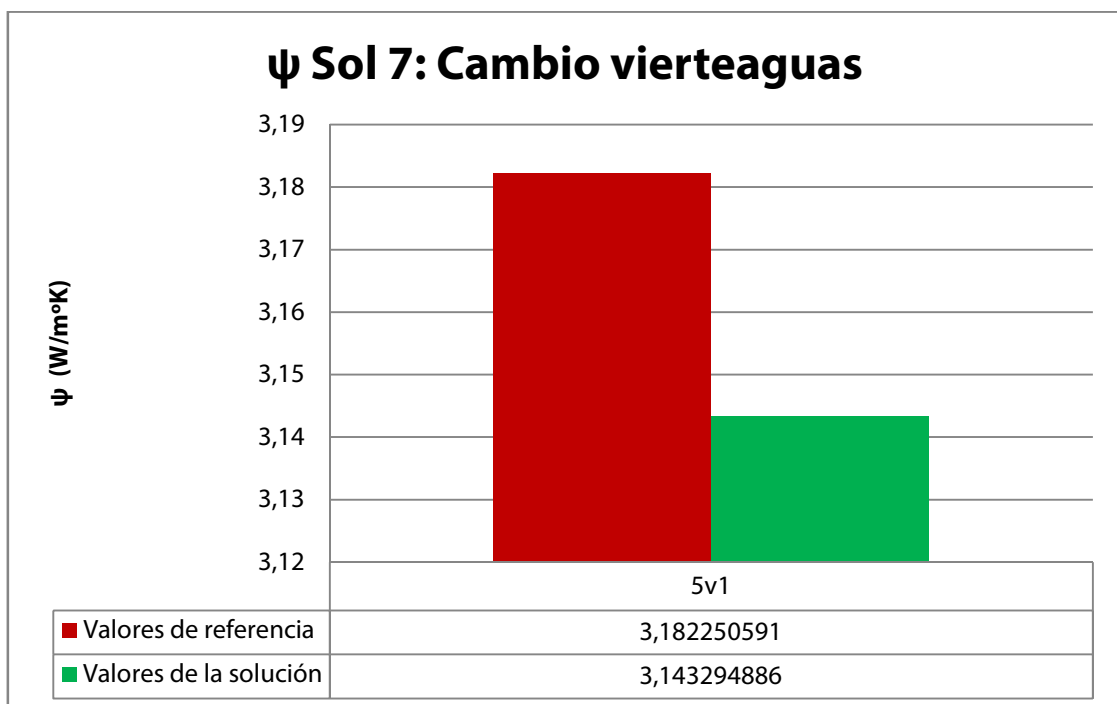
### SOLUCIÓN 7: Sustitución del vierteaguas por otro con aislante térmico.

Vamos a proceder a la sustitución del vierteaguas de piedra artificial por otro de chapa plegada con espuma de poliuretano inyectado.

El la lámina anexa se aprecia una reducción del puente térmico entre el vierteaguas y la hoja interior. Este vierteaguas va apoyado sobre mortero de cemento por lo que el puente era evidente. Al rellenar el vierteaguas de aislante térmico se consigue minimizar el flujo entre éste y el resto de las partes con las que está en contacto. La diferencia de comportamiento con la hoja exterior es inapreciable.

Aunque se reduzca el puente anterior, el comportamiento general mejora muy poco porque el puente era pequeño. Si no hubiera aislante térmico entre las dos hojas esta solución evitaría el flujo entre el vierteaguas y la cámara no ventilada por lo que sería más eficaz. No existe mejora apreciable de la temperatura interior. La transmitancia térmica lineal solo mejor en 0.3. W/m<sup>2</sup>K. El fRSI permanece inalterado.

De cualquier forma, esta mejora es eficaz en su alcance y debe ser tomada en cuenta en la elección del dintel.



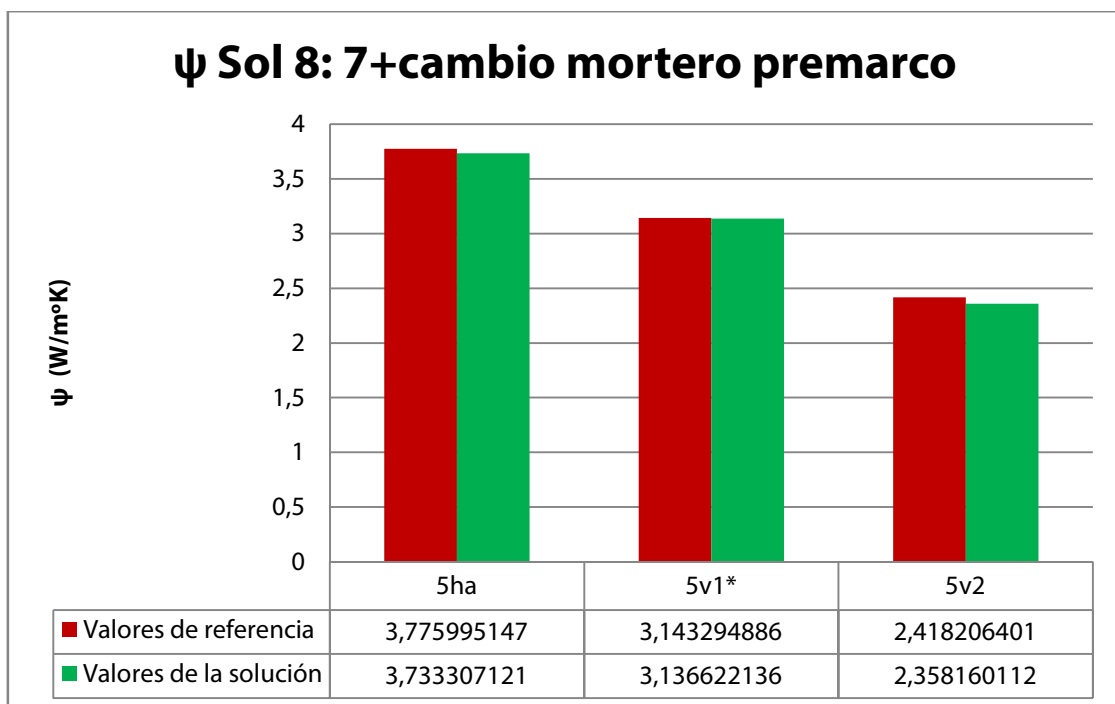
**SOLUCIÓN 8: Solución anterior + sustitución del mortero de agarre de la carpintería.**

Sustituir el mortero de agarre del premarco y el marco minimiza el puente térmico entre la carpintería y el cerramiento. En las imágenes anexas podemos ver cómo el mayor rendimiento de esta solución se da entre el mortero y el vierteaguas y también apreciamos que no parece tener incidencia en el interior de la vivienda. Las temperaturas interiores no presentan cambios visibles con esta solución.

En la vista superior del dintel podemos ver cómo el puente entre el perfil en L y el mortero se ve minimizado por la menor conductividad térmica de la solución.

Debemos tener en cuenta que el volumen de esta actuación es muy reducido y que los resultados serán muy puntuales.

Los datos de la transmitancia térmica lineal coinciden con las observaciones gráficas. Se da una máxima diferencia entre el sujeto y la solución de 0.06 W/m²K justo en la zona del dintel. Como anteriormente, el dato del fRSI no es útil en este caso dada la poca incidencia en las temperaturas interiores que provoca este cambio de material.



### SOLUCIÓN 9: Extensión longitudinal del marco en la zona del telar

Como apreciamos en las imágenes térmicas y de flujo, la incidencia de este cambio se da sobre todo en la cámara no ventilada. Si hubiéramos considerado una solución con aislante térmico entre las hojas no se hubiera esperado cambio alguno en el comportamiento.

Esta extensión en longitud de la pieza -constituida por una lámina de aluminio galvanizado- protege la cámara interna del cerramiento de la infiltración de humedades provenientes del exterior.

Aunque no presenta cambios visibles en la temperatura del paramento interior podemos prever que la cámara se comportará de forma distinta, aumentando la transmitancia del cerramiento.

Analizando los parámetros numéricos, fRSI continúa sin cambios y la transmitancia térmica lineal presenta cambios favorables en torno a los  $0.001 \text{ W/m}^2\text{K}$ , lo que está dentro del rango de error del programa y debe considerarse como sin cambios.



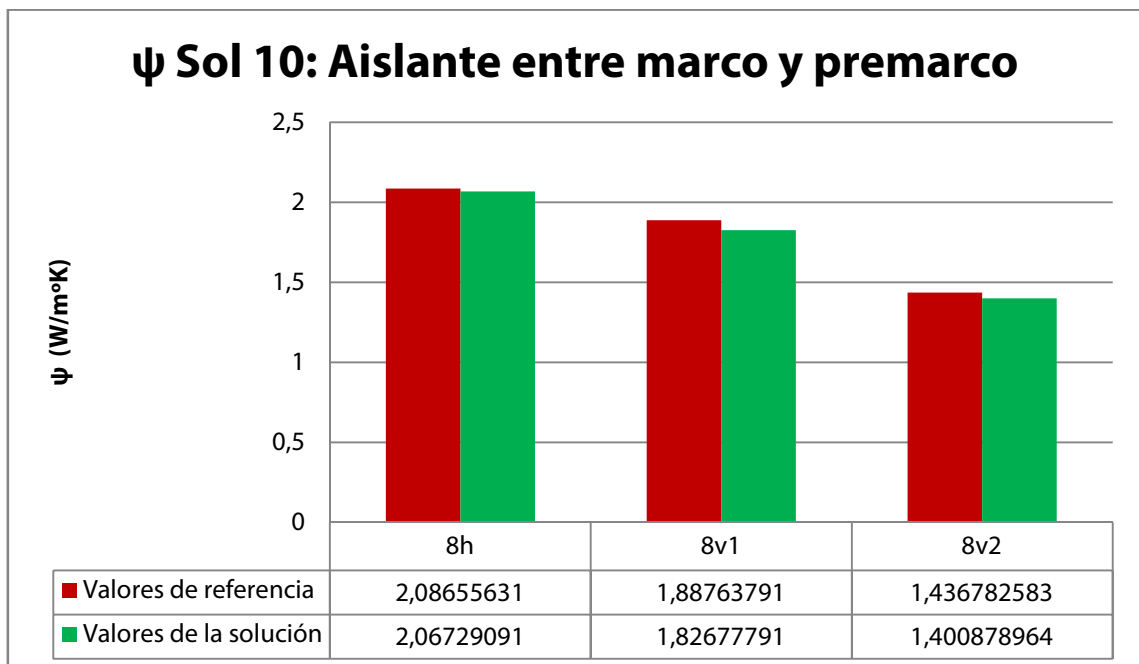
### SOLUCIÓN 10: Interposición de lámina de poliuretano entre el marco y el premarco

Con la intención de interrumpir el flujo térmico entre estos.

Efectivamente, como muestran las imágenes de flujo entre las dos partes, el flujo se ve interrumpido parcialmente en la zona entre las dos piezas. La incidencia en la zona es pequeña dado el gran puente térmico que promueve el vierteaguas y las carpinterías metálicas en la sección vertical. En la sección horizontal se aprecia cómo el premarco crea por sí mismo un puente entre el exterior y la hoja interior a pesar de la solución interpuesta.

Aunque la carpintería sea de PVC el premarco es metálico y crea un puente.

Los valores de fRSI presentan variaciones minúsculas porque la temperatura mínima del paramento interior en las carpinterías correderas se da en el raíl de la hoja por su relativamente alta conductividad y pequeño espesor entre el interior y el exterior. En cuanto a la transmitancia térmica lineal, las diferencias son apreciables con una media de 0.03 y un máximo de 0.06 W/m²K que se da en la sección vertical a la altura del vierteaguas.



## 8- Conclusiones

El análisis de parámetros térmicos mediante el uso de elementos finitos puede ser un trabajo complejo pero gracias a programas dedicados como Therm podemos abordarlos sin grandes conocimientos de termodinámica. Con las precauciones anteriormente descritas puede ser utilizado como hemos hecho en este trabajo para el cálculo de los puentes térmicos en la edificación.

El uso de las variables térmicas escogidas para evaluar los modelos ha tenido una eficacia desigual. Si bien el factor de temperatura superficial  $f_{RSI}$  es un parámetro que en teoría debería servir para analizar los puentes térmicos se ha mostrado poco útil en el caso de evaluar los puentes térmicos de pequeña entidad pues las pequeñas variaciones de este parámetro pueden ser menores que el error de cálculo. Sólo en las variaciones relativamente grandes de la composición del cerramiento tienen una incidencia visible en este parámetro. Esto es porque se basa en la relación entre la temperatura exterior, la interior y la menor temperatura que se alcanza en la superficie interior. Las temperaturas interior y exterior son constantes durante el cálculo y la temperatura mínima de la superficie interior se da casi siempre en la carpintería, así que el  $f_{RSI}$  no suele variar mucho entre los casos expuestos y sus soluciones de no ser que los cambios en el cerramiento sean tan grandes que alteren también la temperatura de la carpintería.

En cuanto a la transmitancia térmica en dos dimensiones (U2D) y la lineal ( $\psi$ ) podemos decir que sus valores son casi los mismos. U2D se basa en la transmitancia media que hace el programa.  $\psi$  al utilizar la transmitancia de cálculo del cerramiento da más valor a éste que al resto del modelo. Por esto, cuanto más separados están los valores entre los dos parámetros podemos decir que más diferencia hay entre la transmitancia del cerramiento y la del resto de la solución (ver gráfico de parámetros en el anexo). Estos dos parámetros son de utilidad pues reflejan también las pequeñas variaciones que hemos acometido para paliar los puentes térmicos puntuales

Respecto a los puentes térmicos que hemos encontrado, los podemos clasificar en tres clases, según la propuesta de solución que hemos tomado: los puentes que se derivan de la tipología constructiva en sí y que se solucionan en una propuesta de rehabilitación integral del cerramiento, los puentes que pueden ser resueltos mediante pequeñas intervenciones y los puentes que deben ser tenidos en cuenta para ser minimizados a la hora de construir.

En una rehabilitación integral que incluya el cerramiento debemos tener en cuenta si existen elementos protegidos en la fachada. De no existir, la adición de una nueva hoja exterior es la solución más eficaz para minimizar los puentes térmicos sobre todo si va incluido el cambio de carpinterías por otras de buena calidad. De este modo se crea una capa aislante que envuelve a todo el edificio y que hace desaparecer los puentes que hubiera con anterioridad. En el caso de fachada protegida, hemos visto que la eficacia de la adición de una hoja por el trasdós es también eficaz pero corremos el peligro de dejar los puentes

térmicos entre la carpintería y el cerramiento por lo que es recomendable actuar sobre ellos si no se puede hacer un cambio de carpintería. Estos puentes suelen localizarse en el encuentro del cerramiento con la pieza del vierteaguas y con la ventana y, según en qué casos, también con la pieza que conforma el dintel. En el caso pues de tener que conservar la ventana, sería aconsejable desmontarla del cerramiento para proceder a realizar las juntas de estanqueidad y a volver a realizar los encuentros interponiendo aislante térmico como hemos visto en el trabajo.

Para los puentes que pueden ser reducidos con pequeñas intervenciones podemos decir que la inyección de aislante térmico en los cerramientos de doble hoja y en general el incremento de la capacidad aislante del cerramiento contribuye a minimizar los puentes pero no a eliminarlos. La adición de aislante a la caja de persiana, el cambio de vierteaguas, etc., no hacen sino minimizar los puentes pero no los hacen desaparecer. El cambio que más mejoraría los puentes en una pequeña intervención sería la sustitución de la carpintería por una con rotura del puente térmico y con acristalamiento de calidad con varias hojas. Como hemos visto en el trabajo, la transmitancia total de las soluciones estaba muy condicionada por la tipología del vidrio, al ser éste el que mayor proporción de superficie tiene. Por lo tanto para la minimización de los puentes como para la mejora general del aislamiento térmico de la solución constructiva, una carpintería de buena calidad es clave.

Vistos los datos de las simulaciones estamos en condiciones de señalar algunos consejos constructivos para minimizar los puentes térmicos en fase de construcción. Por una parte, debemos interponer aislamiento térmico entre piezas con mucha conductividad y que conectan el interior con el exterior de la vivienda. Estas piezas como el vierteaguas son muy problemáticas. La carpintería no debe ser colocada sobre el vierteaguas y éste no debe ser pasante entre las distintas hojas del cerramiento sin aislante térmico. Se desaconseja el uso de piezas macizas por este hecho. En cuanto a los perfiles del dintel del cerramiento, debemos asegurarnos de que no presentan una continuidad entre las hojas. Con la simple interposición de aislamiento en la cámara del cerramiento estamos solucionando este punto. Para asentar el premarco de la carpintería debemos tener en cuenta que el mortero de cemento conduce el calor casi con el doble de facilidad que el ladrillo hueco. Por esta razón aconsejamos poner el mínimo de mortero para asegurar la carpintería y, si queremos ir un paso más en el aislamiento, interponer una lámina entre marco y premarco como hacen algunos sistemas patentados como *posaclima*, por ejemplo. El uso de morteros aligerados debe ser analizado previamente para asegurarse de que cumple todos los requisitos mecánicos y de estanqueidad para ser utilizados en esta solución.

Sobre los materiales de las carpinterías, la madera ha destacado como un buen aislante térmico. Con un buen espesor de las escuadrías, la elección de una madera estable y una buena ejecución, este material no es peor térmicamente que las tipologías más modernas. Con la solución que hemos experimentado en este trabajo de añadir una nueva hoja de vidrio a la carpintería hemos encontrado una forma rápida y relativamente barata de mejorar una carpintería, con todas las precauciones que hemos visto en el desarrollo del trabajo.

Los metales para carpinterías adolecen de su alta conductividad térmica. Si no se interponen sistemas de rotura del puente térmico son la mejor forma de conducir el calor entre el interior y el exterior. La rotura del puente térmico, como es de esperar, funciona bien y cumple su cometido, interponiéndose en el flujo térmico entre las dos caras de la carpintería. En cuanto al PVC, no es muy conductor por sí mismo pero las estructuras metálicas internas que le sirven de soporte sí que lo son. La rotura del puente en estas también es aconsejable.

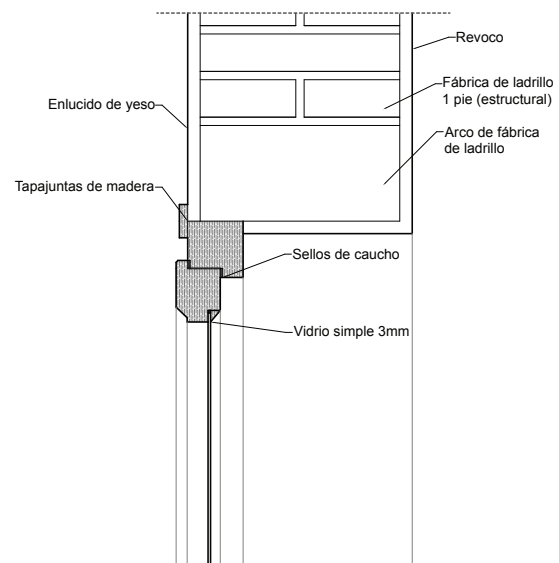
Para terminar, hemos de decir que las carpinterías con apertura batiente son mucho mejores térmicamente que las correderas. No por la falta de estanqueidad o por ser de distintos espesores sino porque la existencia del carril de la corredera. Éste crea una sección, habitualmente de metal, de bajo espesor y alta conductividad térmica que ha resultado ser el punto con menor temperatura superficial en el interior de todas las soluciones similares analizadas.

## 9- Anexos

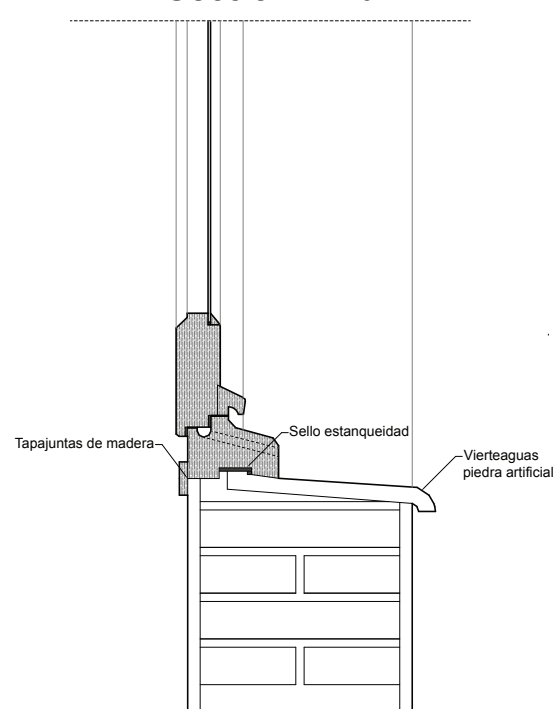


## 9.1- Láminas de las soluciones constructivas analizadas.

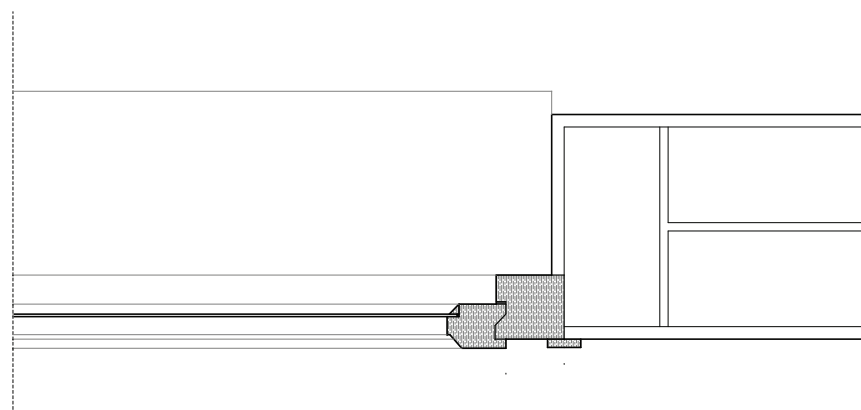
1



Sección 1v2b



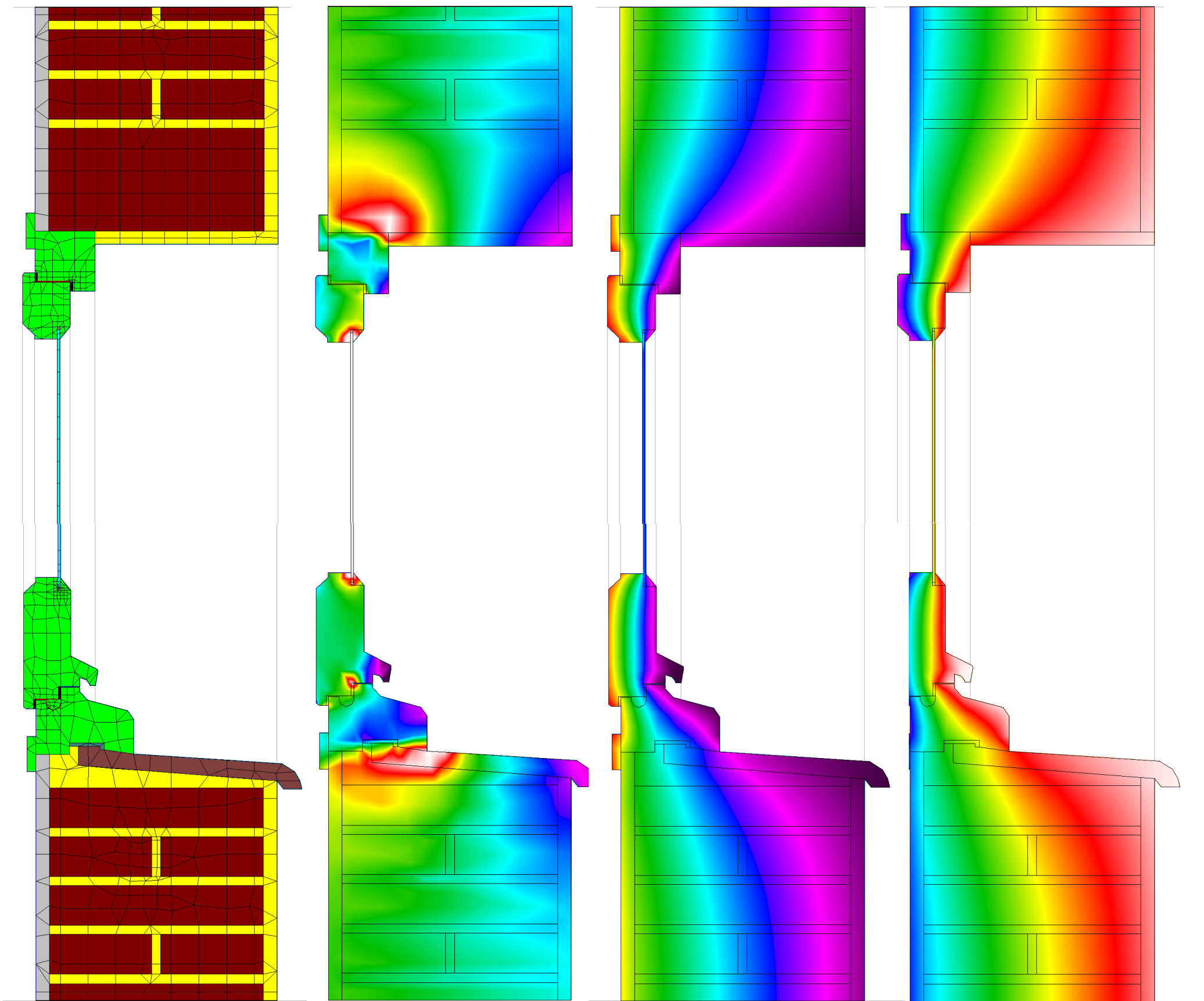
Sección 1v1b



Sección 1h

Ventana de madera en cerramiento de fábrica de ladrillo de 1 pie (estructural). Solución a haces interiores.



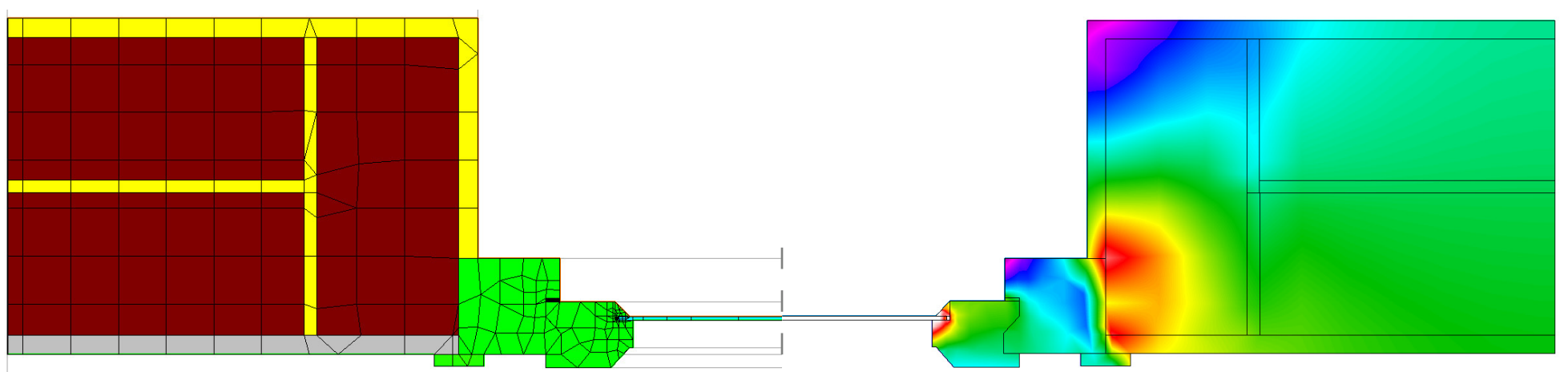


Materiales y Mallado

Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano



Materiales y Mallado

Flujo térmico

0.0 7.5 15.0 22.5 30.0 37.5 45.0 52.5 60.0

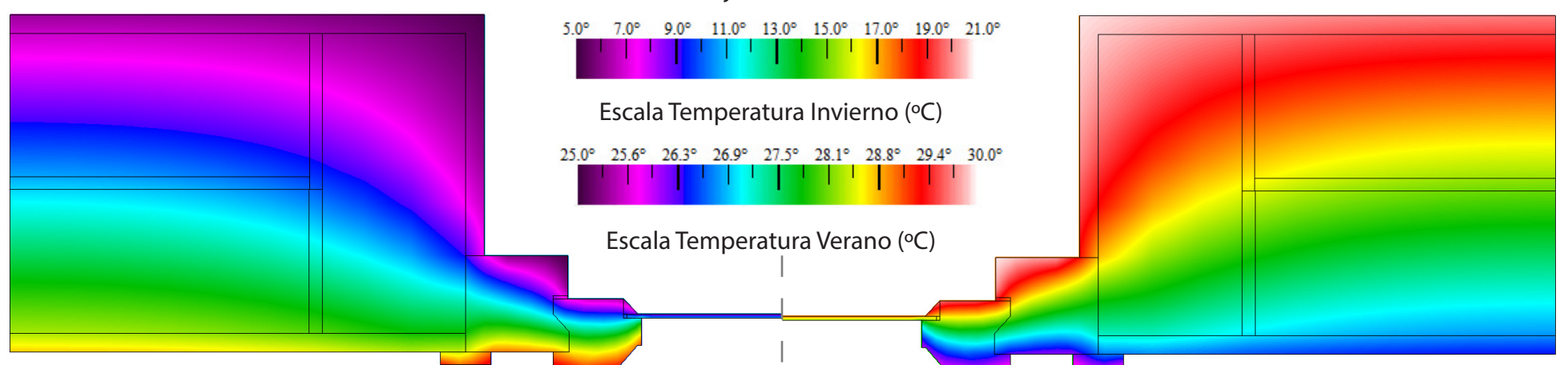
Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

5.0° 7.0° 9.0° 11.0° 13.0° 15.0° 17.0° 19.0° 21.0°

Escala Temperatura Invierno (°C)

25.0° 25.6° 26.3° 26.9° 27.5° 28.1° 28.8° 29.4° 30.0°

Escala Temperatura Verano (°C)

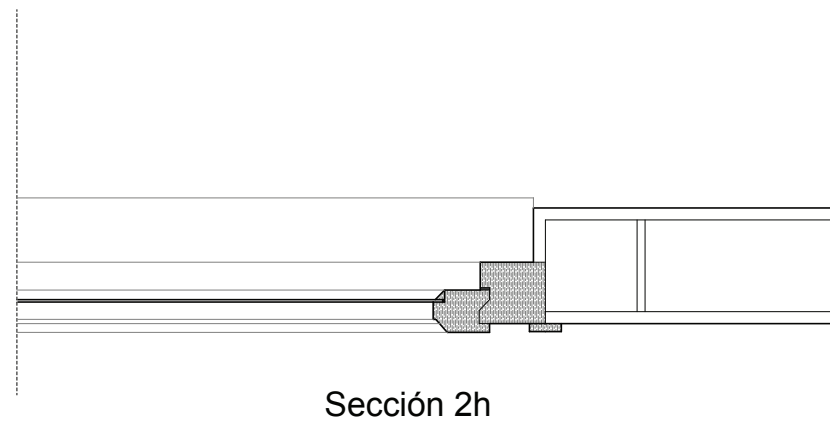
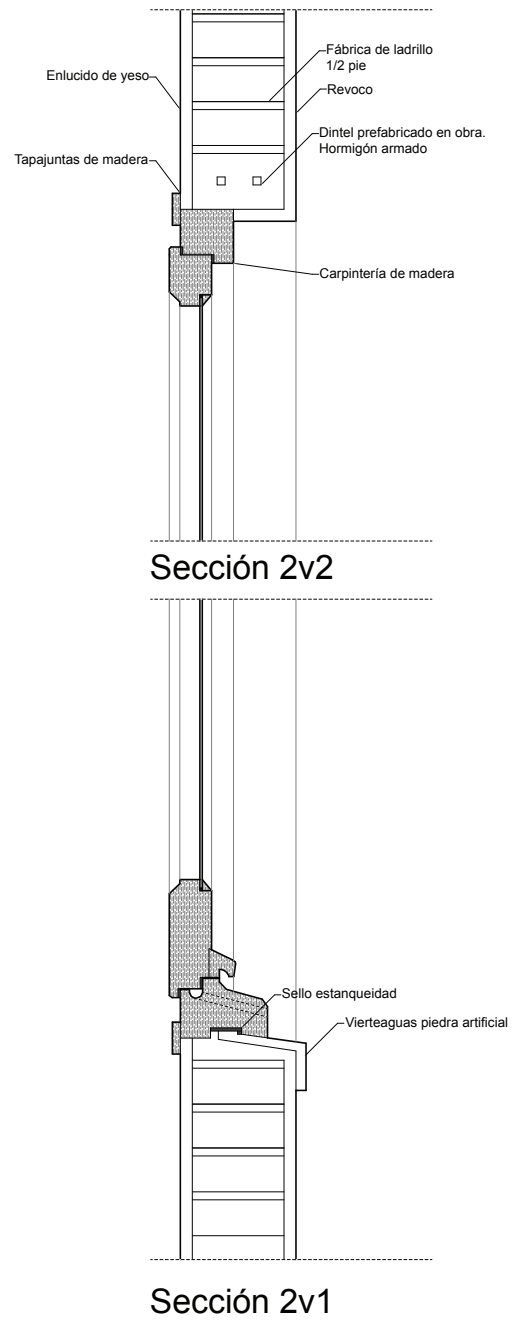


Temperatura Invierno

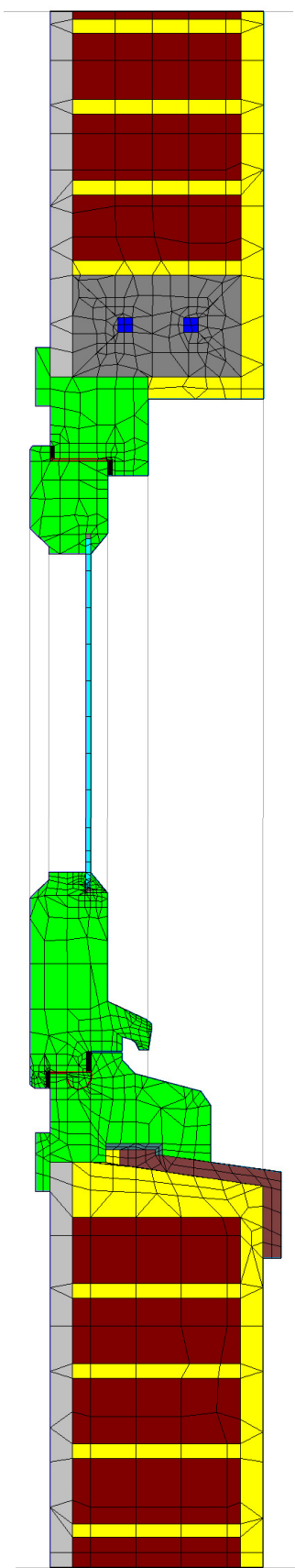
Temperatura Verano



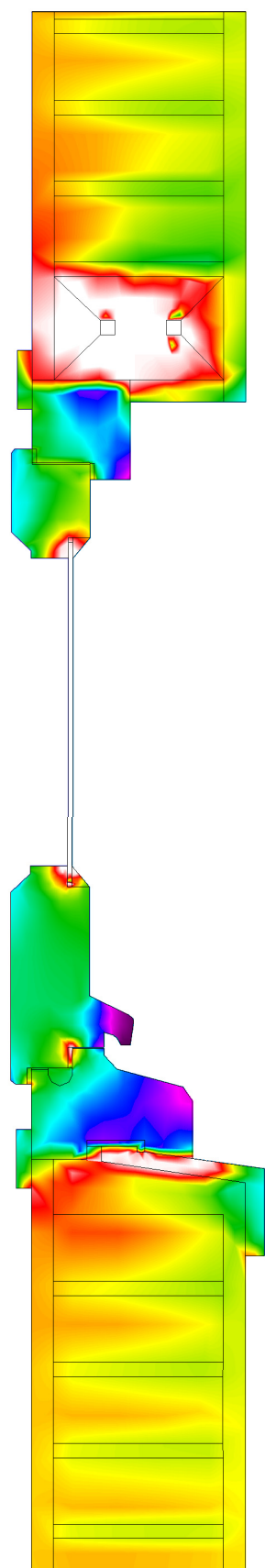
2



Ventana de madera con vidrio simple en cerramiento de fábrica de ladrillo de 1/2 pie.



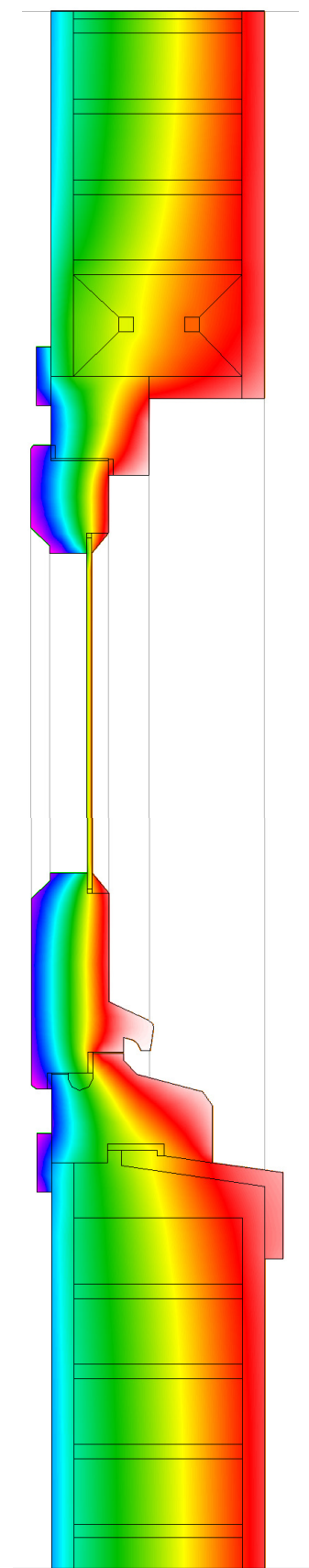
Materiales y Mallado



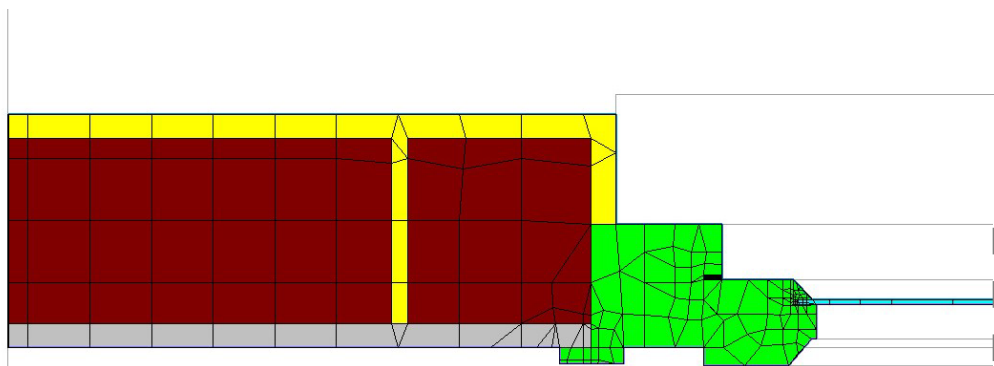
Flujo térmico



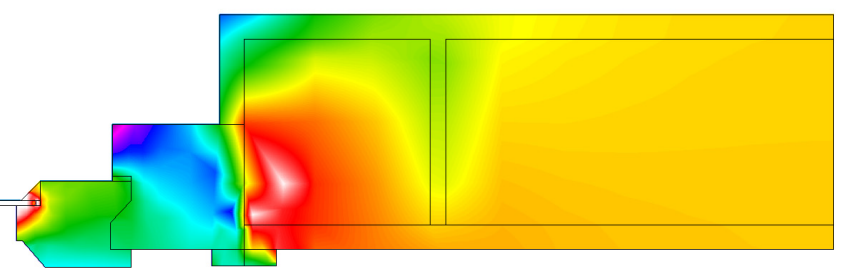
Temperatura Invierno



Temperatura Verano



Materiales y Mallado



Flujo térmico

0.0 7.5 15.0 22.5 30.0 37.5 45.0 52.5 60.0



Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

5.0° 7.0° 9.0° 11.0° 13.0° 15.0° 17.0° 19.0° 21.0°

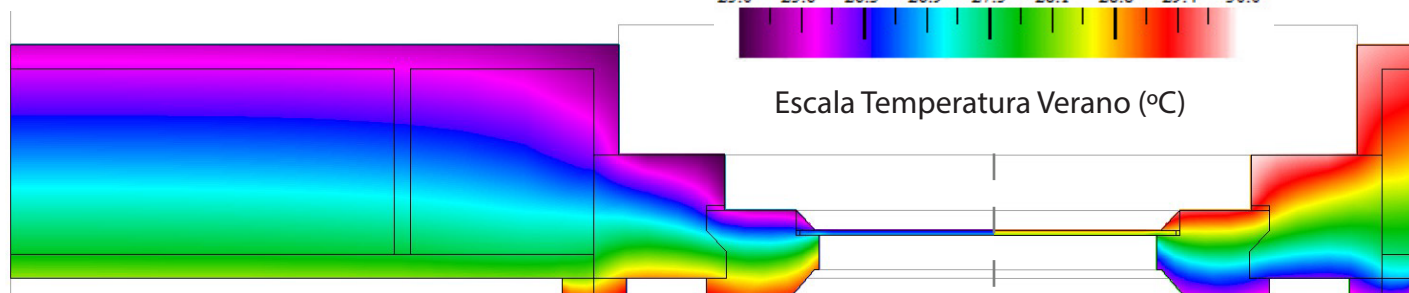


Escala Temperatura Invierno (°C)

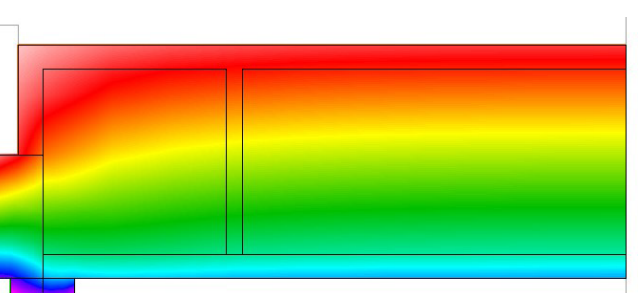
25.0° 25.6° 26.3° 26.9° 27.5° 28.1° 28.8° 29.4° 30.0°



Escala Temperatura Verano (°C)

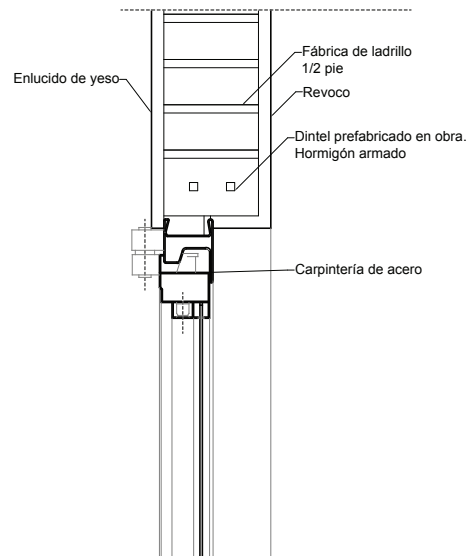


Temperatura Invierno

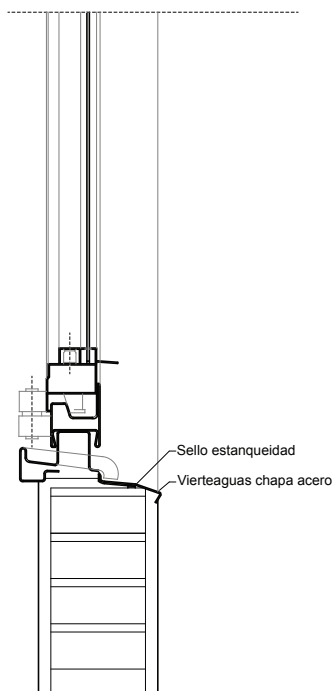


Temperatura Verano

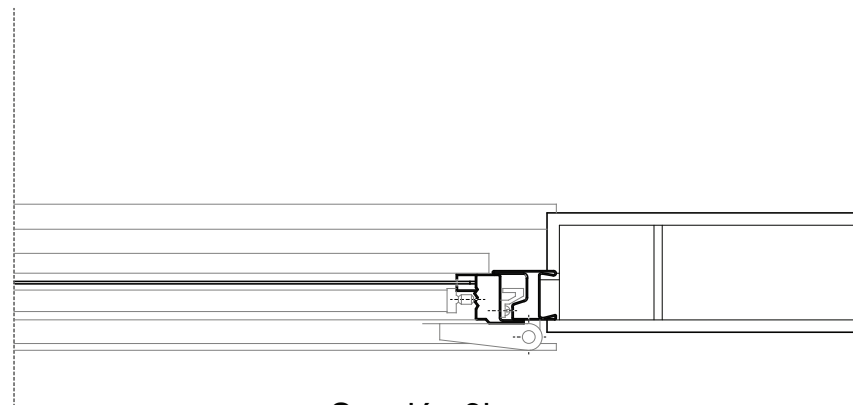
3



Sección 3v2

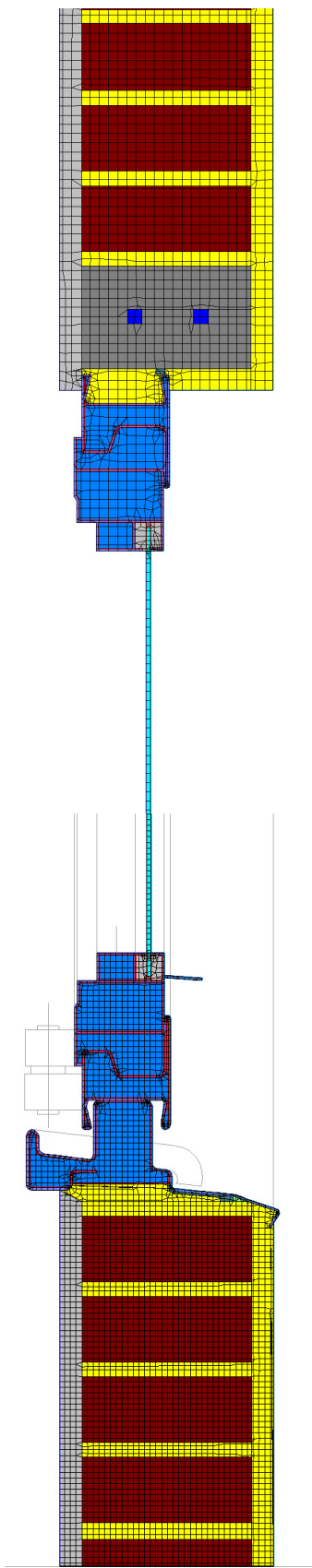


Sección 3v1

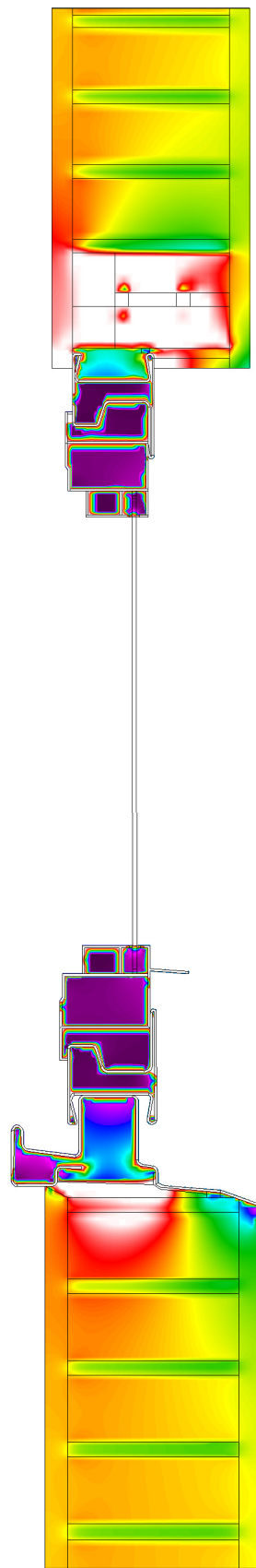


Sección 3h

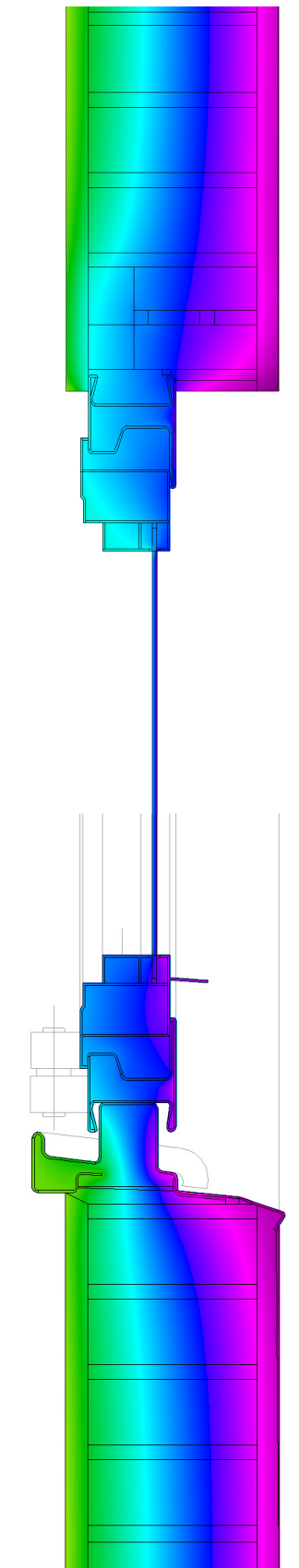
Ventana de hierro con vidrio simple en cerramiento de fábrica de ladrillo de 1/2 pie.



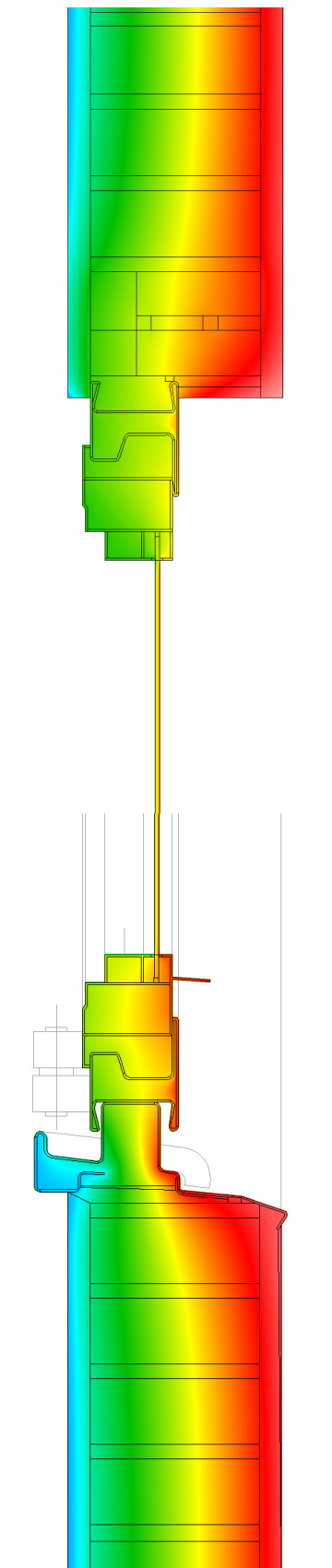
Materiales y Mallado



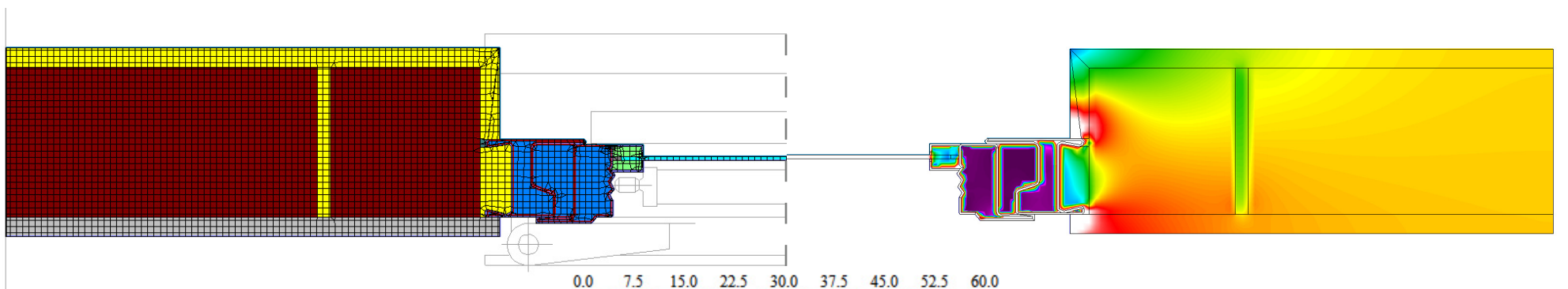
Flujo térmico



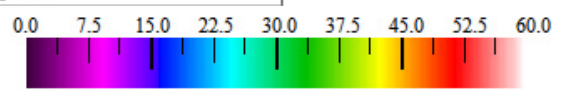
Temperatura Invierno



Temperatura Verano

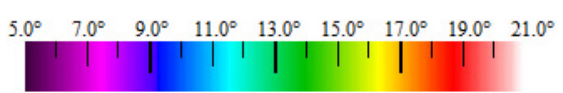


Materiales y Mallado

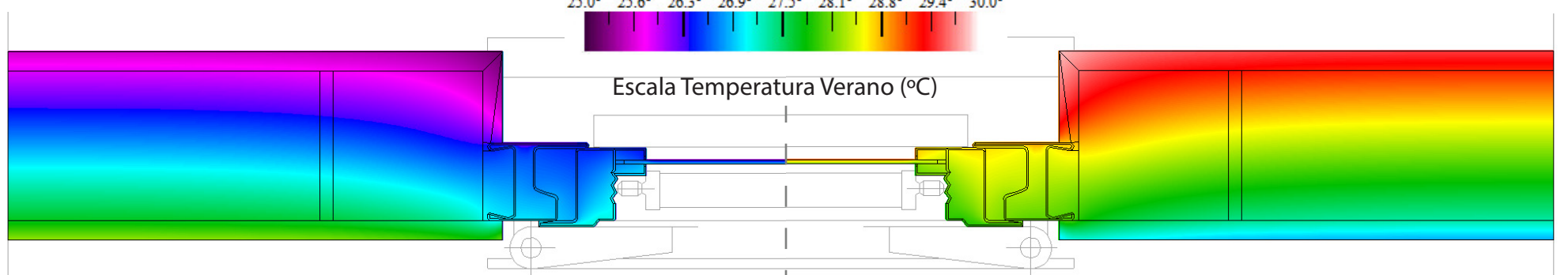


Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

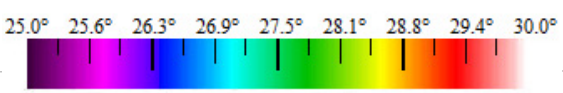
Flujo térmico



Escala Temperatura Invierno (°C)



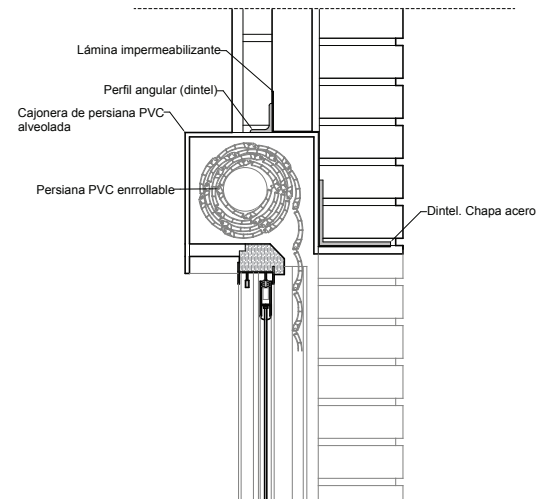
Temperatura Invierno



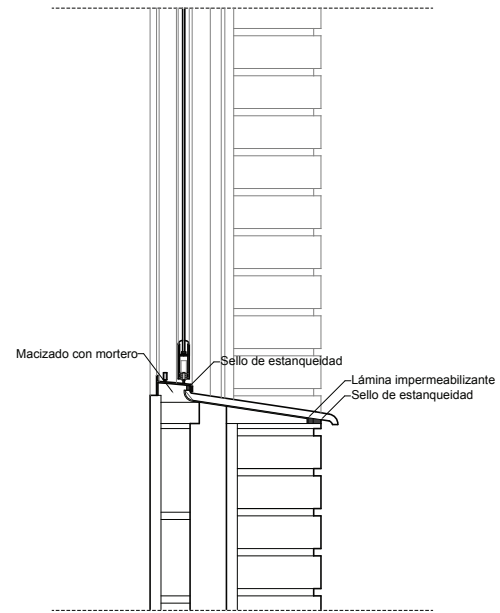
Escala Temperatura Verano (°C)

Temperatura Verano

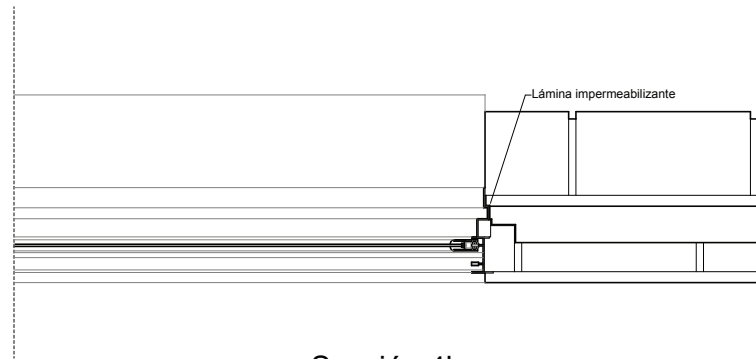
4



Sección 4v2



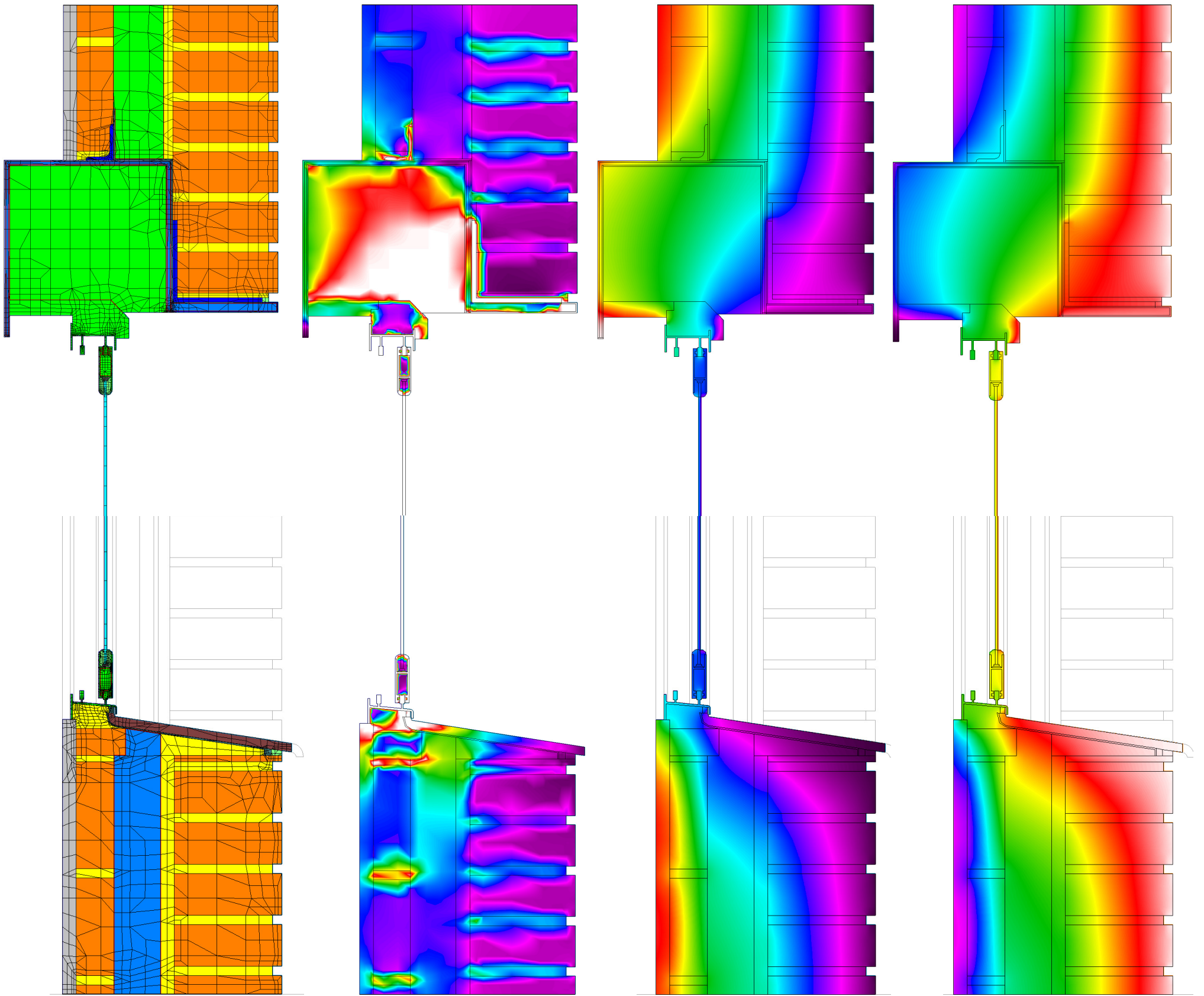
Sección 4v1



Sección 4h

Ventana de aluminio corredera con vidrio simple en cerramiento de fábrica de ladrillo de dos hojas con cámara sin ventilar.





Materiales y Mallado

Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano



Materiales y Mallado

Flujo térmico

0.0 7.5 15.0 22.5 30.0 37.5 45.0 52.5 60.0

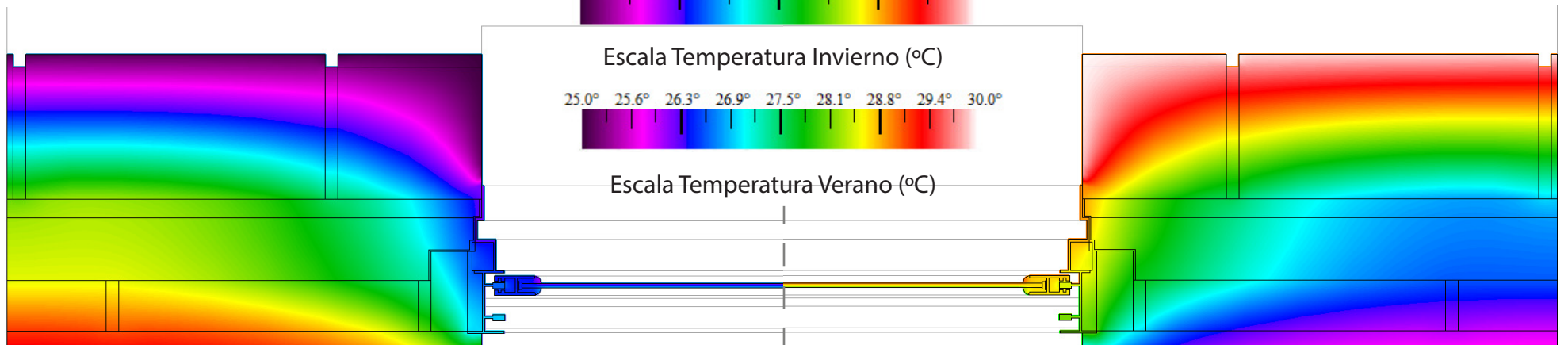
Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

5.0° 7.0° 9.0° 11.0° 13.0° 15.0° 17.0° 19.0° 21.0°

Escala Temperatura Invierno (°C)

25.0° 25.6° 26.3° 26.9° 27.5° 28.1° 28.8° 29.4° 30.0°

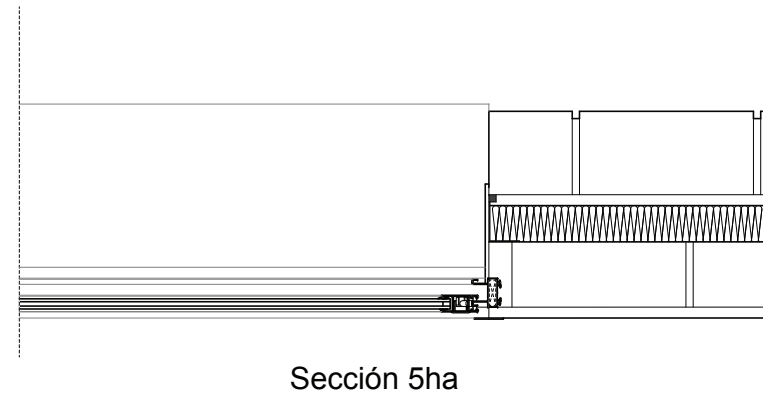
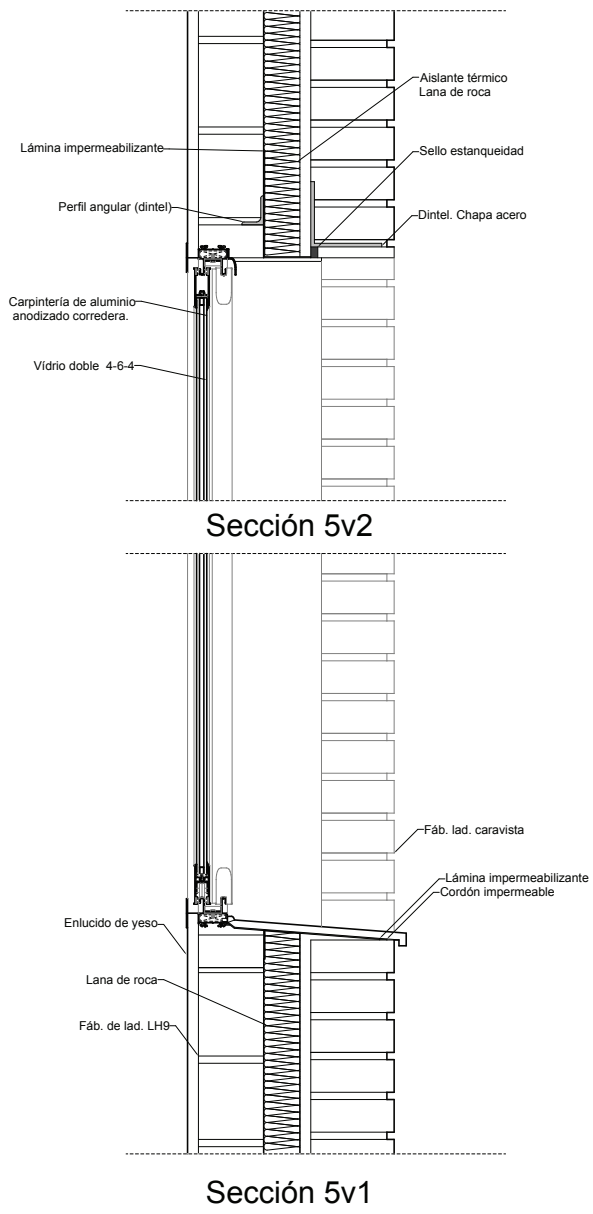
Escala Temperatura Verano (°C)



Temperatura Invierno

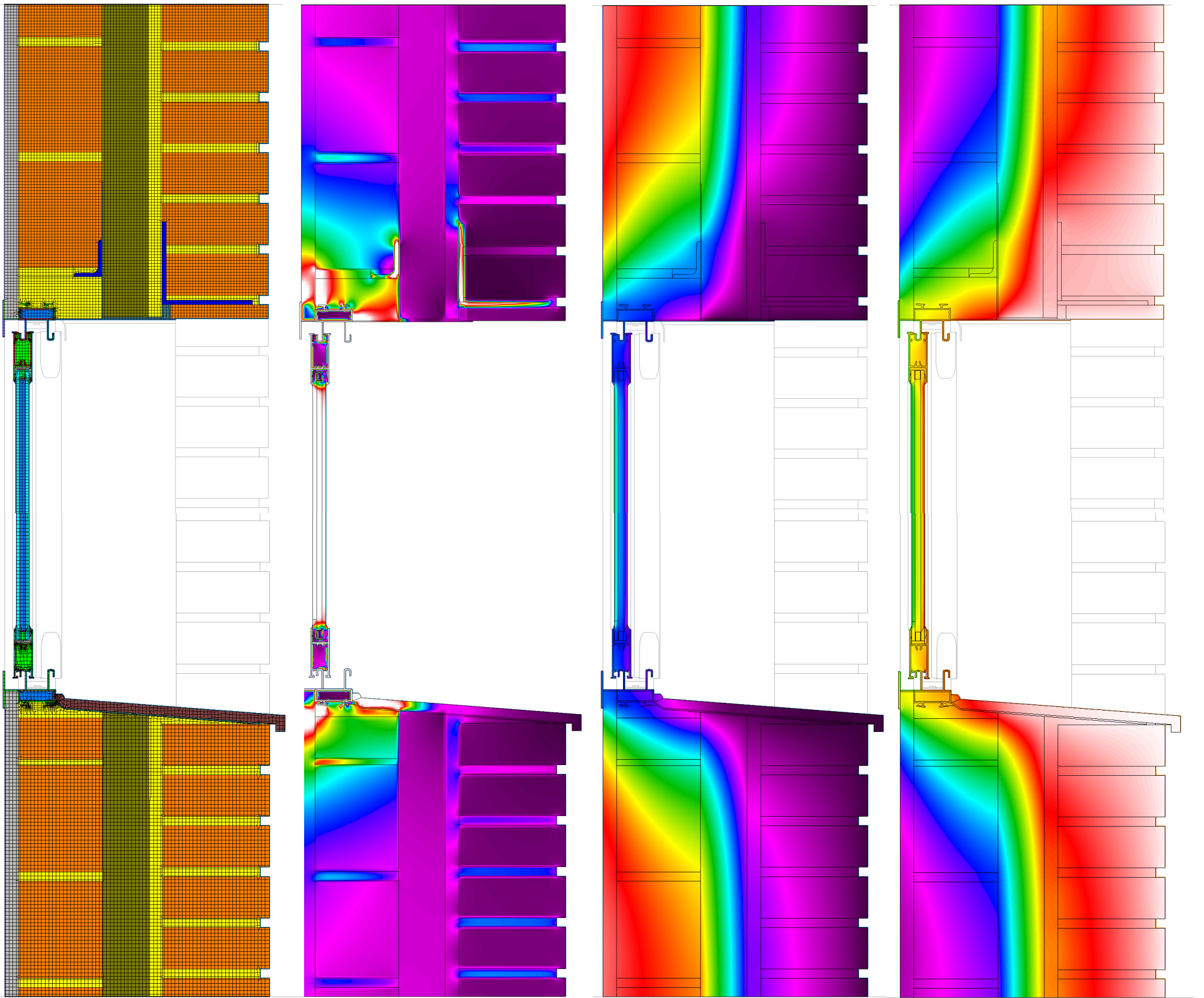
Temperatura Verano

5



Ventana de aluminio corredera con vidrio doble en cerramiento de dos hojas con aislamiento térmico entre ellas. Solución de jamba correcta (sin aparejar).



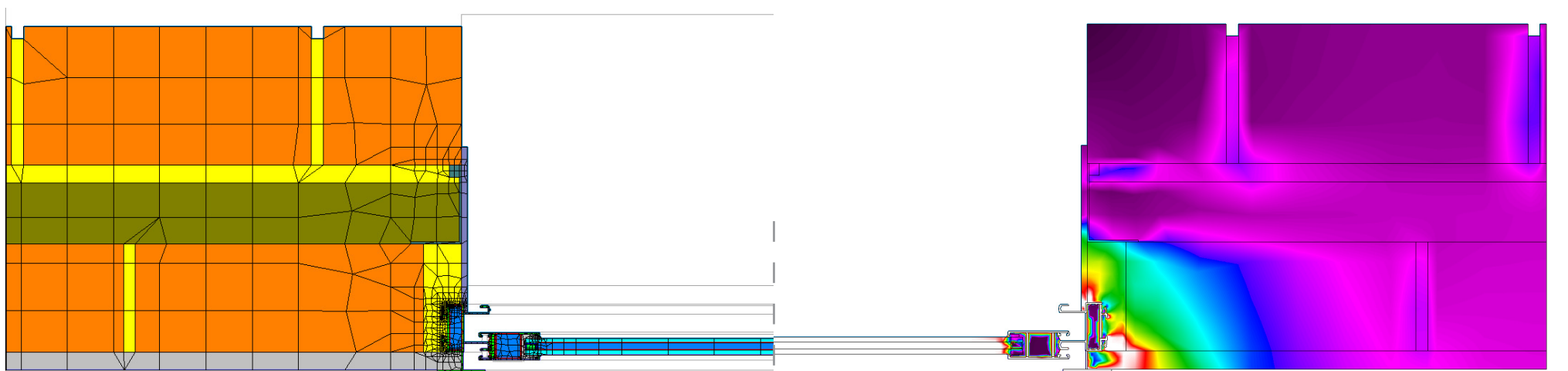


Materials y Mallado

Flujo térmico

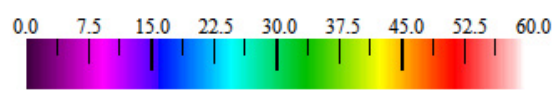
Temperatura Invierno

Temperatura Verano

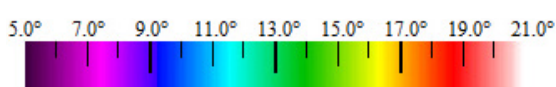


Materials y Mallado

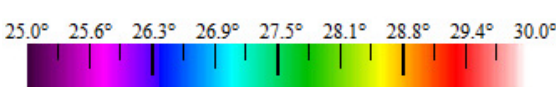
Flujo térmico



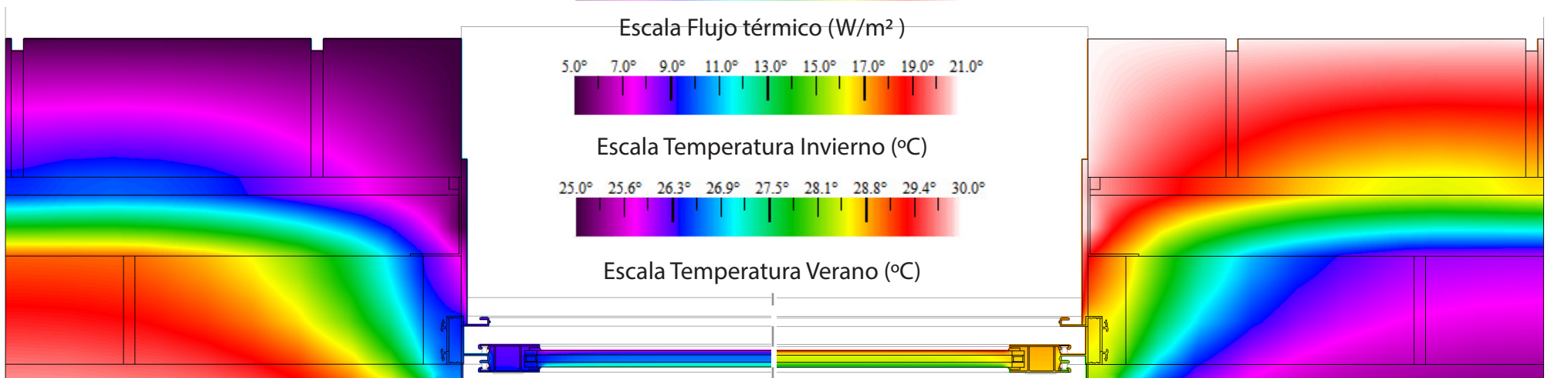
Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)



Escala Temperatura Invierno (°C)



Escala Temperatura Verano (°C)

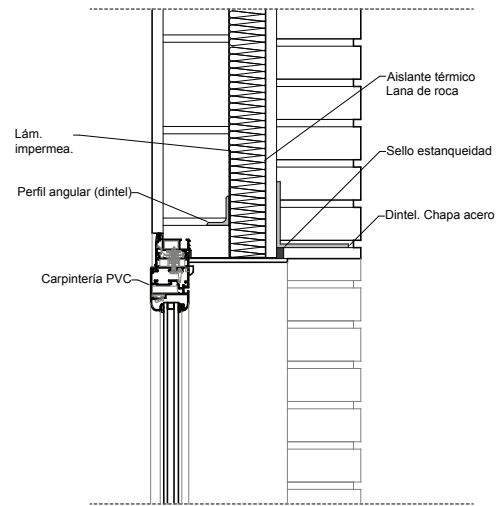


Temperatura Invierno

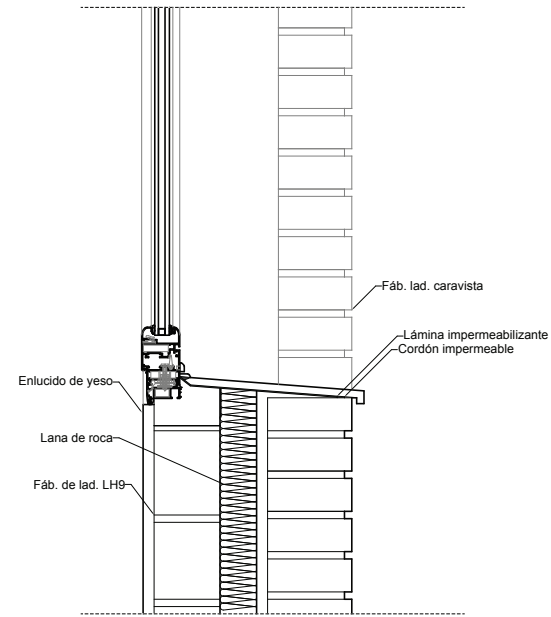
Temperatura Verano



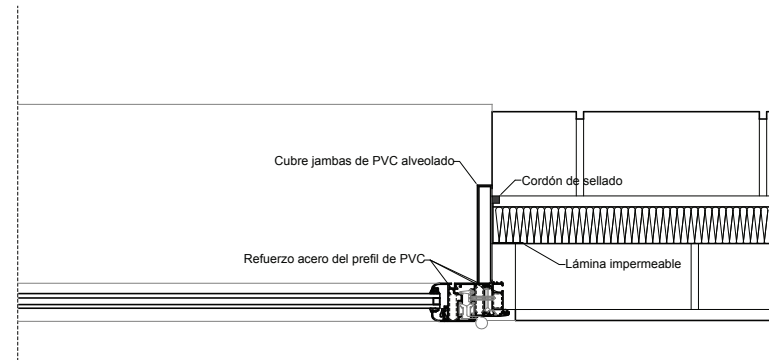
6



Sección 6v2

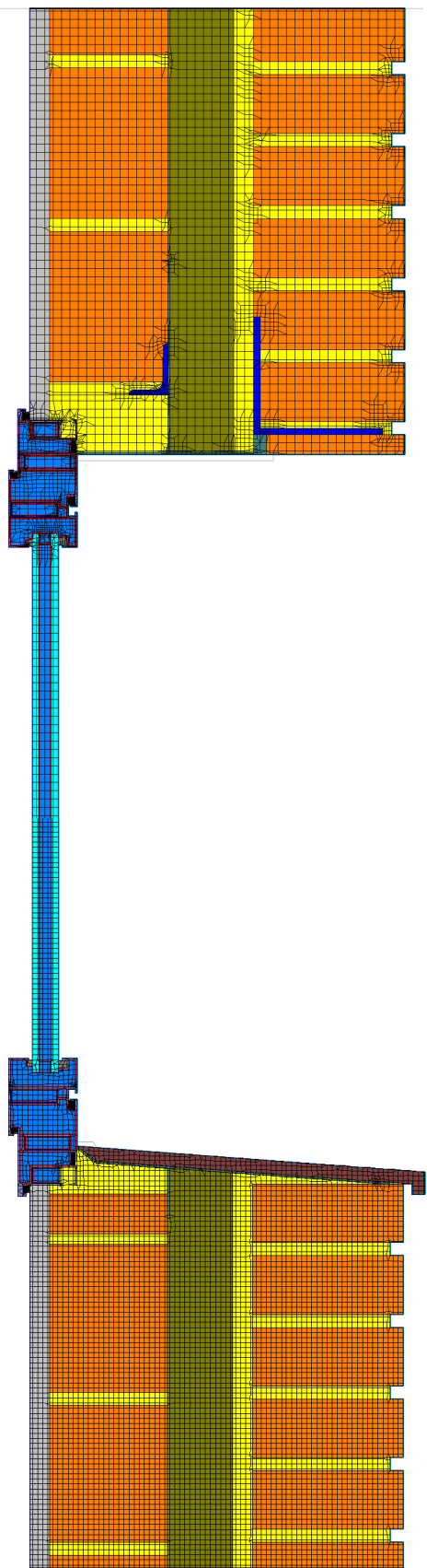


Sección 6v1

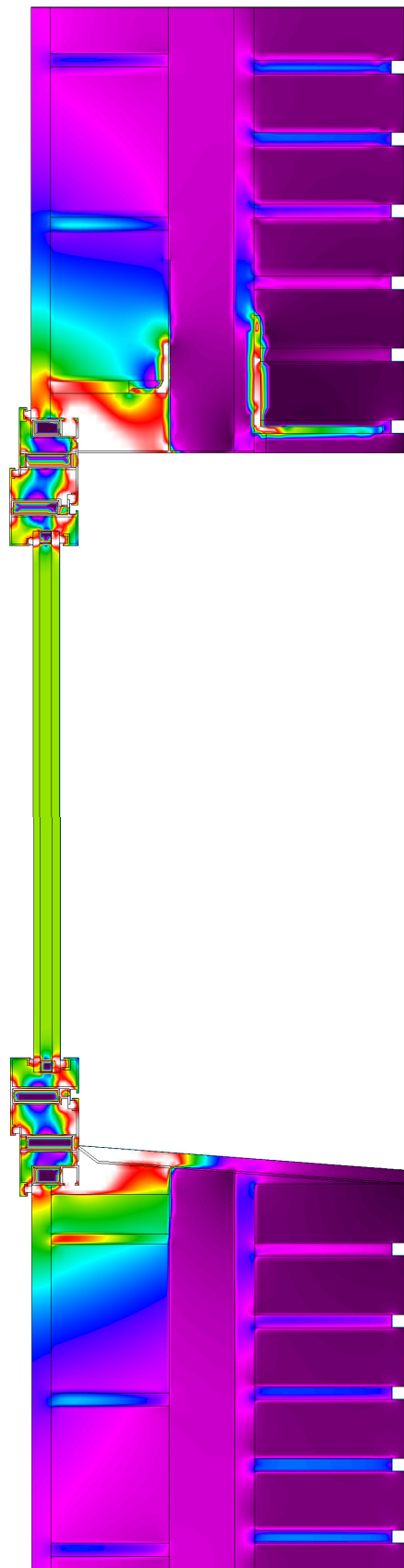


Sección 6h

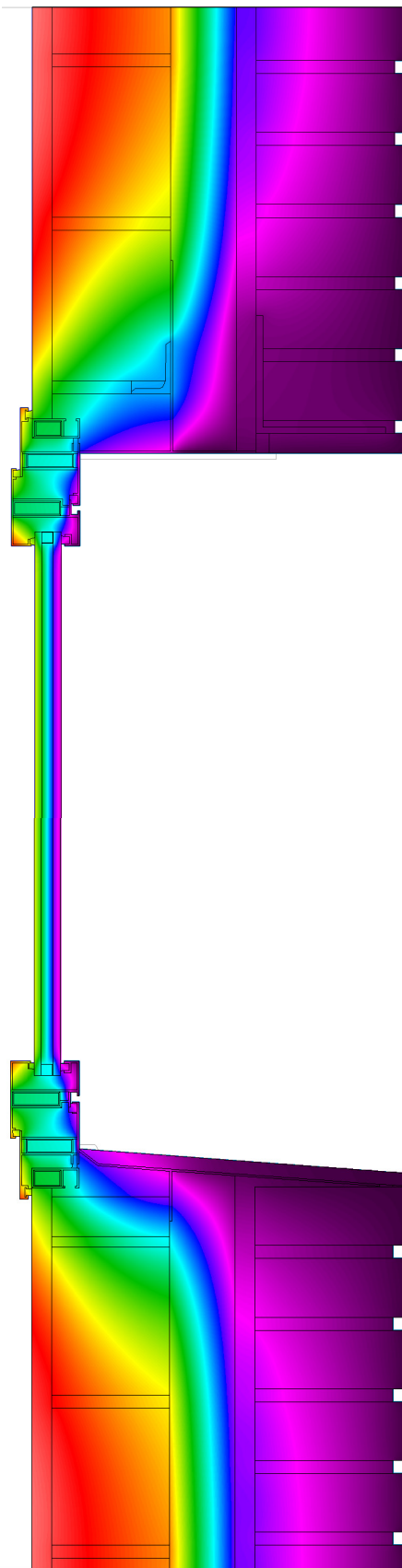
Ventana de PVC practicable con vidrio doble en cerramiento de fábrica de ladrillo de doble hoja con aislante térmico.



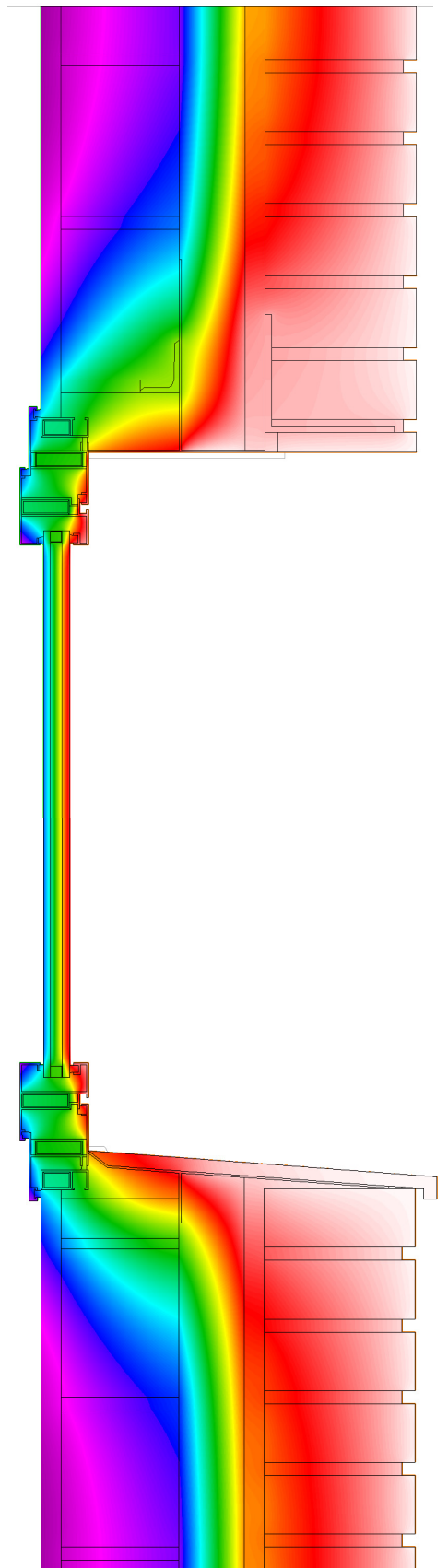
Materiales y Mallado



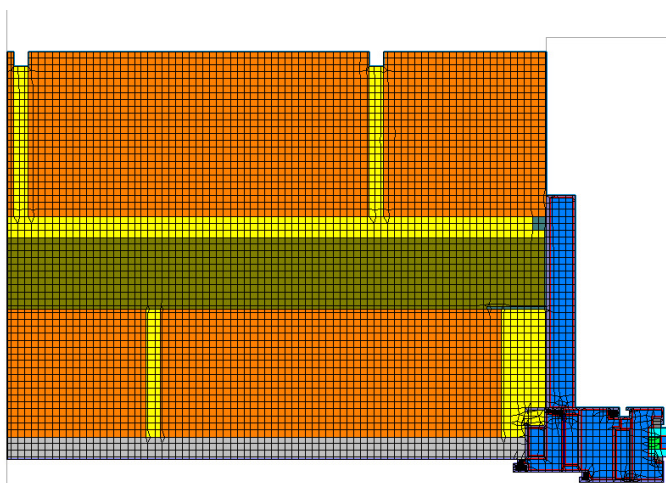
Flujo térmico



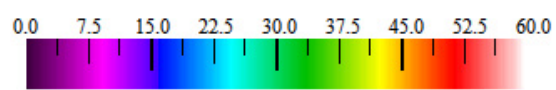
Temperatura Invierno



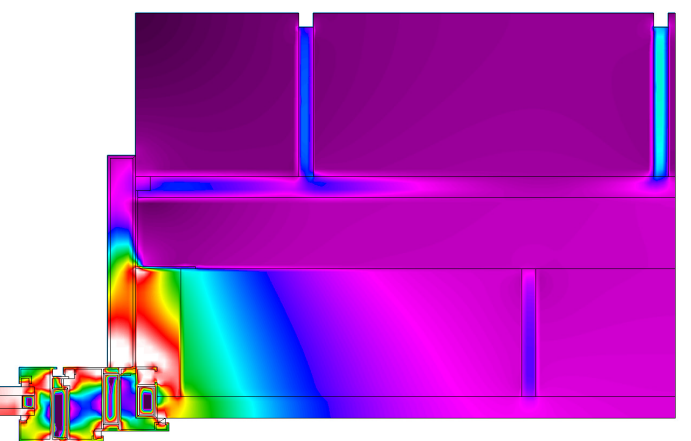
Temperatura Verano



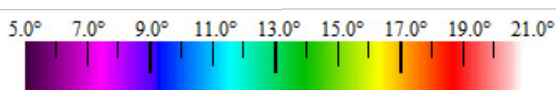
Materiales y Mallado



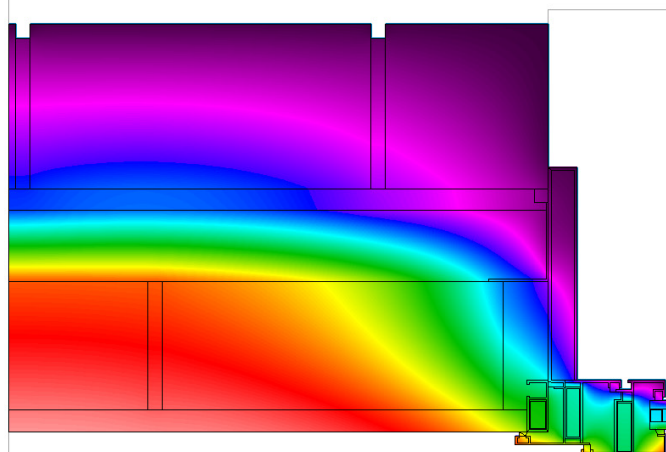
Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)



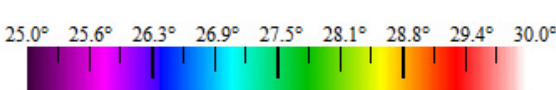
Flujo térmico



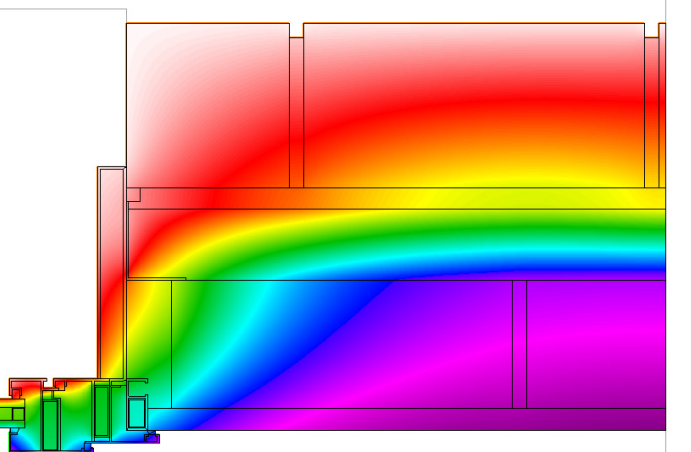
Escala Temperatura Invierno (°C)



Temperatura Invierno

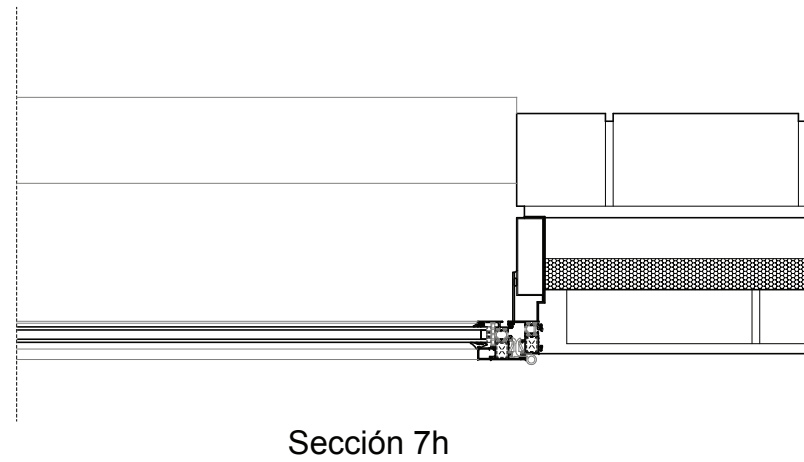
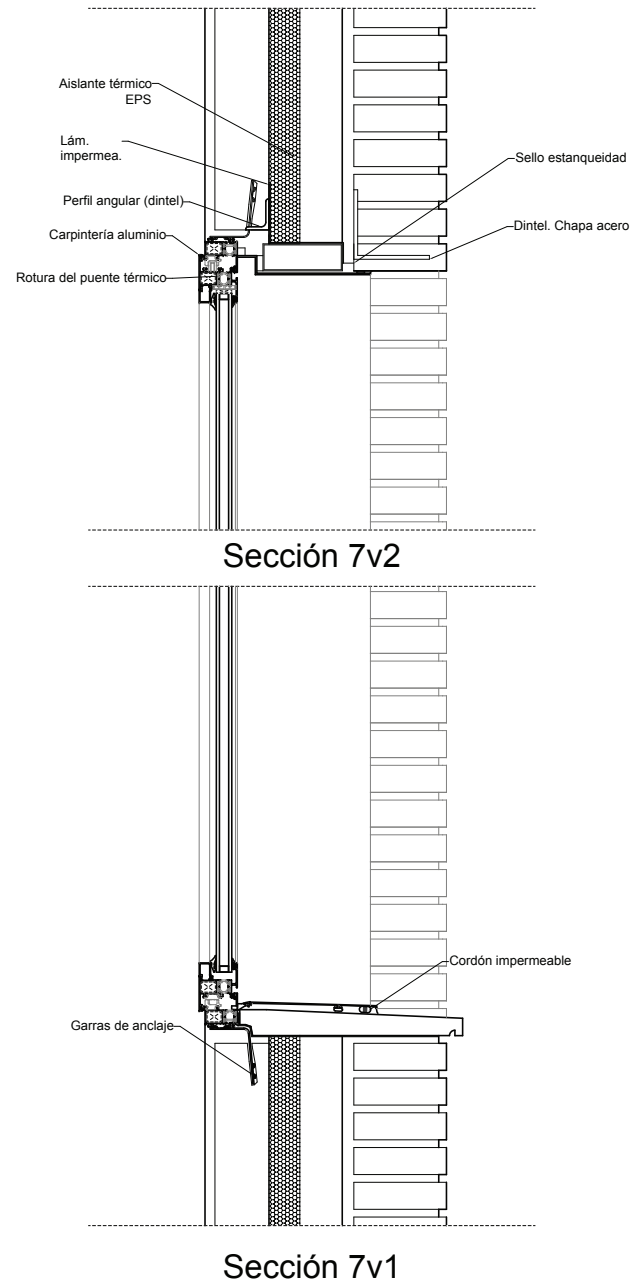


Escala Temperatura Verano (°C)



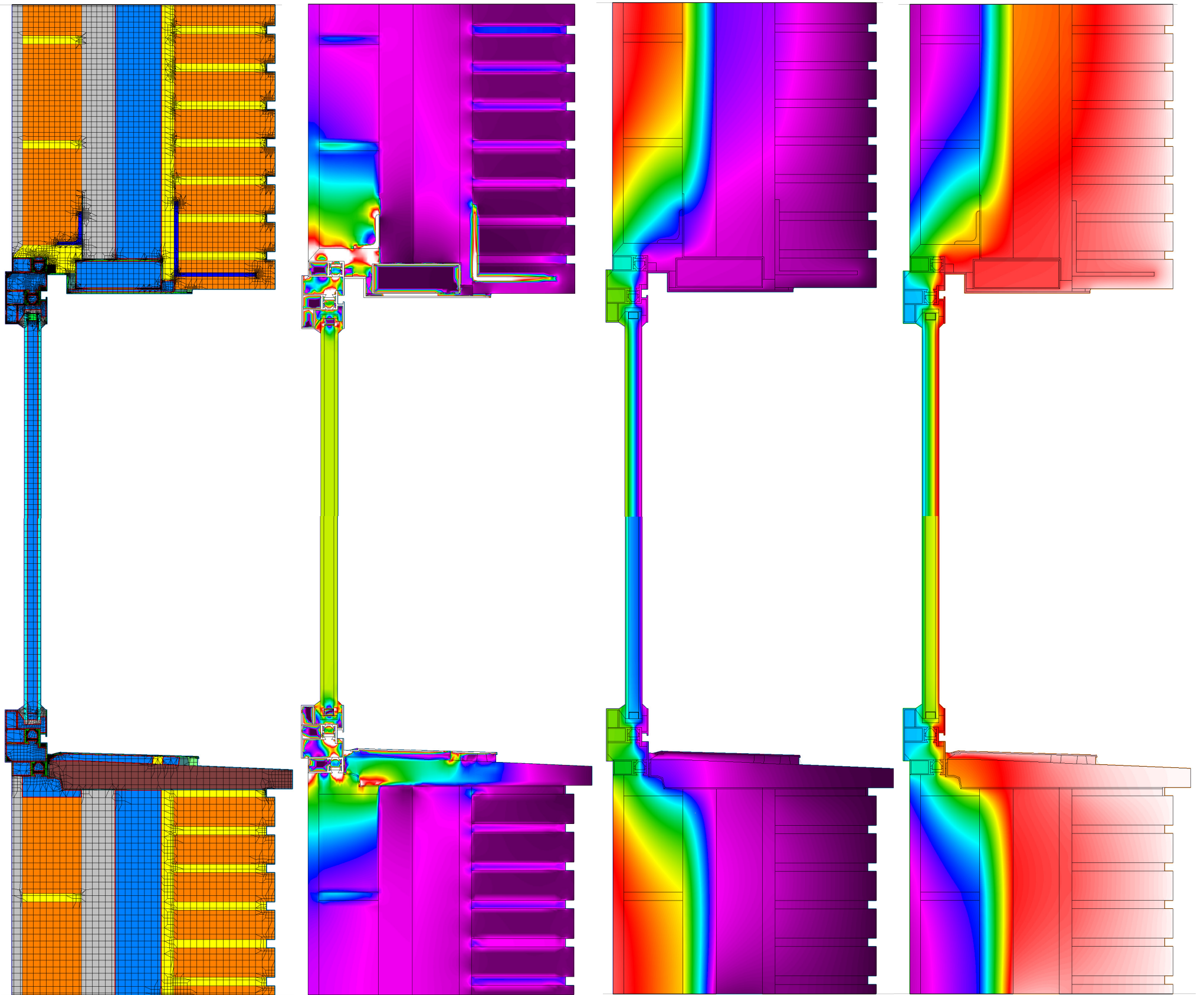
Temperatura Verano

7



Ventana aluminio con rotura de puente térmico y vidrio doble en cerramiento de fábrica de ladrillo de doble hoja con cámara no ventilada y aislamiento térmico.



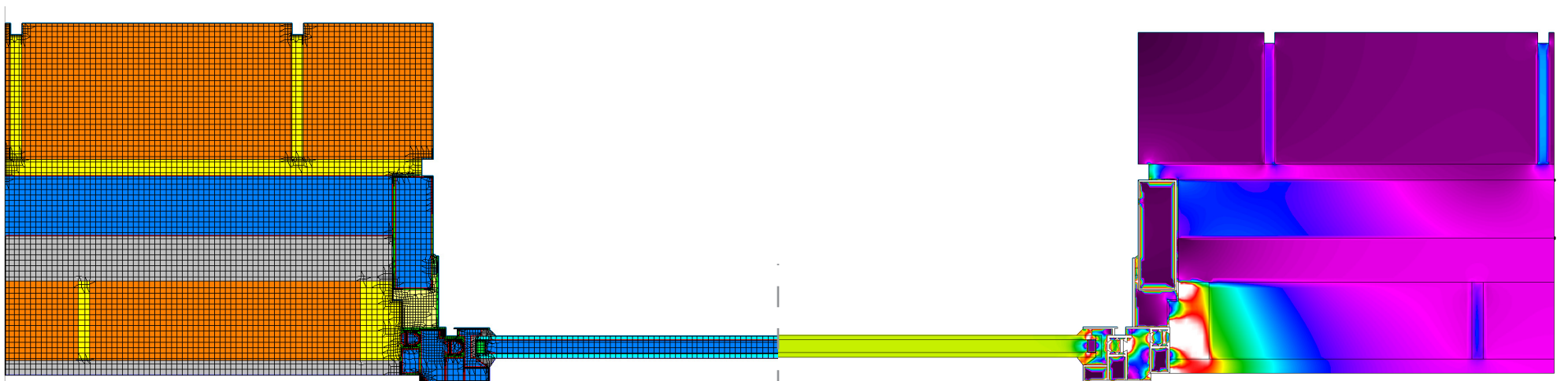


Materiales y Mallado

Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano



Materiales y Mallado

Flujo térmico

0.0 7.5 15.0 22.5 30.0 37.5 45.0 52.5 60.0

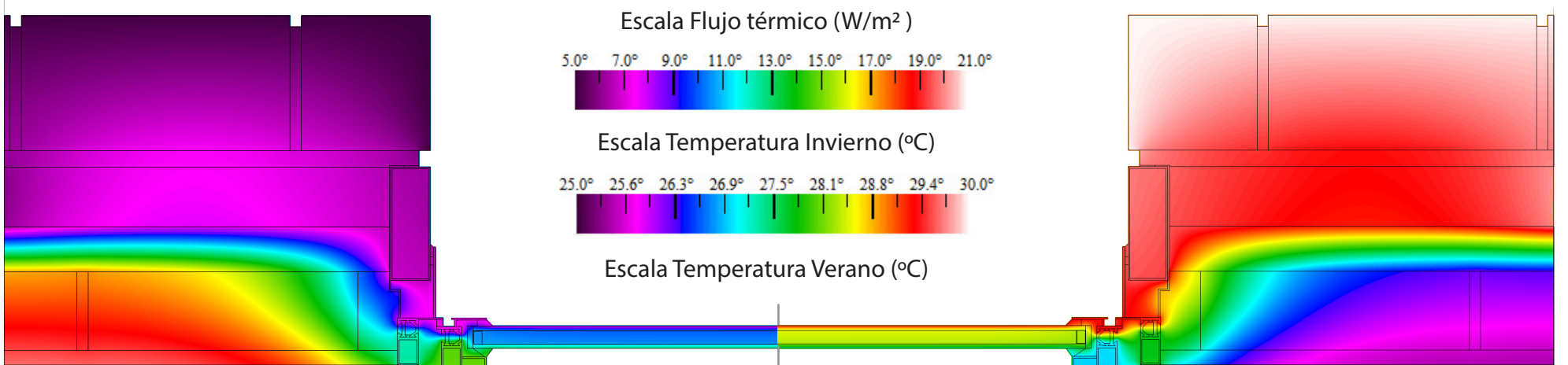
Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

5.0° 7.0° 9.0° 11.0° 13.0° 15.0° 17.0° 19.0° 21.0°

Escala Temperatura Invierno (°C)

25.0° 25.6° 26.3° 26.9° 27.5° 28.1° 28.8° 29.4° 30.0°

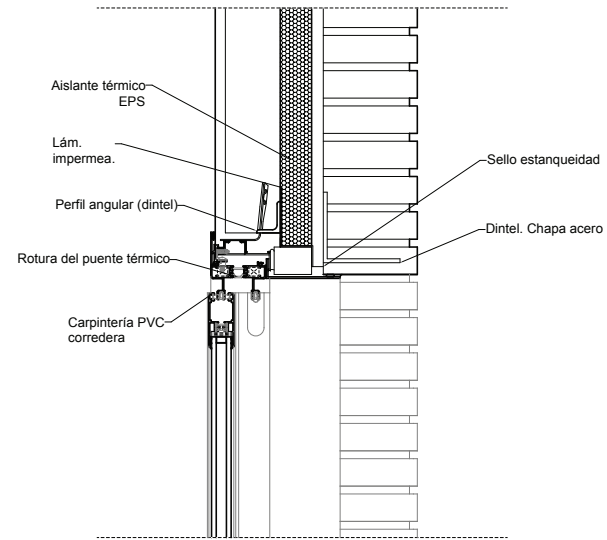
Escala Temperatura Verano (°C)



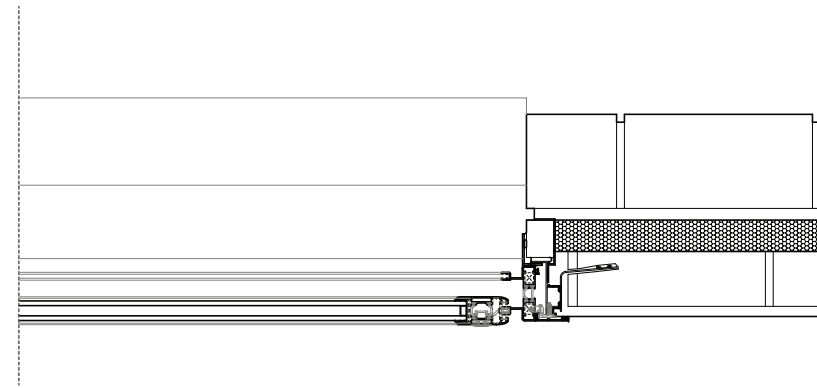
Temperatura Invierno

Temperatura Verano

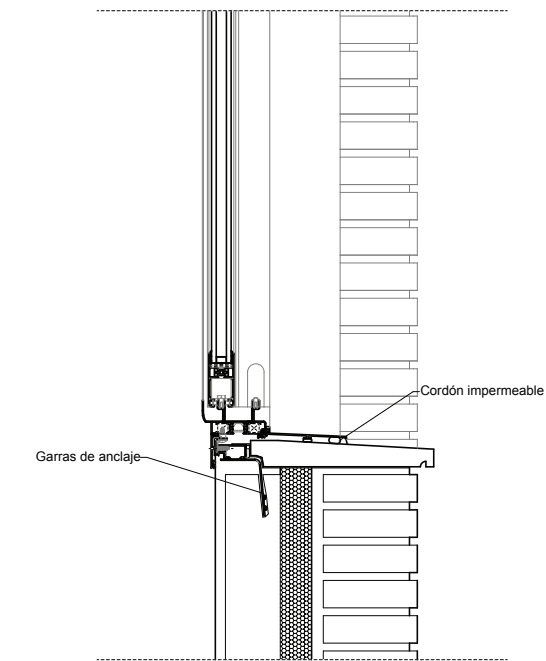
8



Sección 8v2



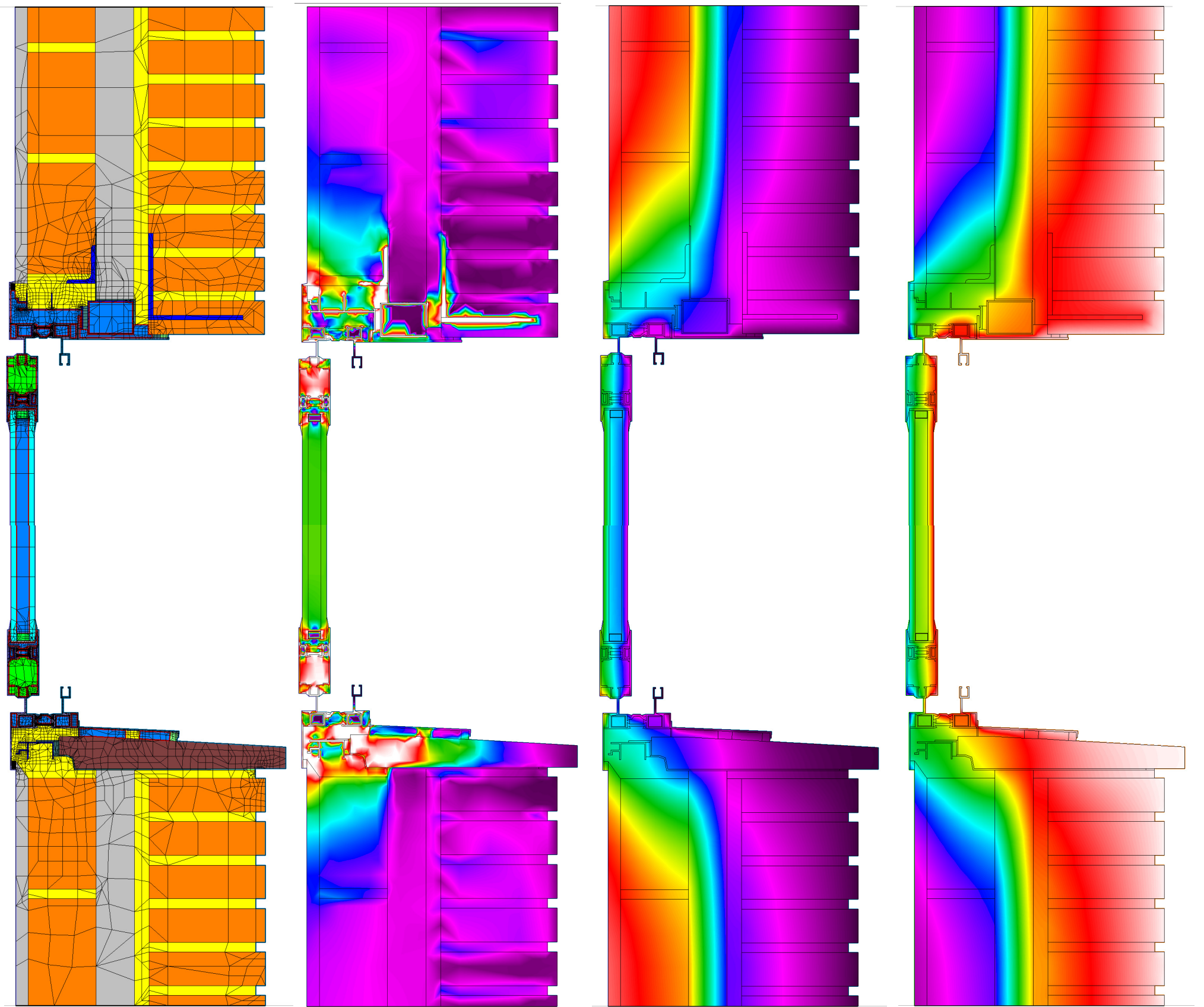
Sección 8h



Sección 8v1

Ventana corredera de PVC con rotura de puente térmico y vidrio doble en cerramiento de fábrica de ladrillo de doble hoja con aislante térmico.



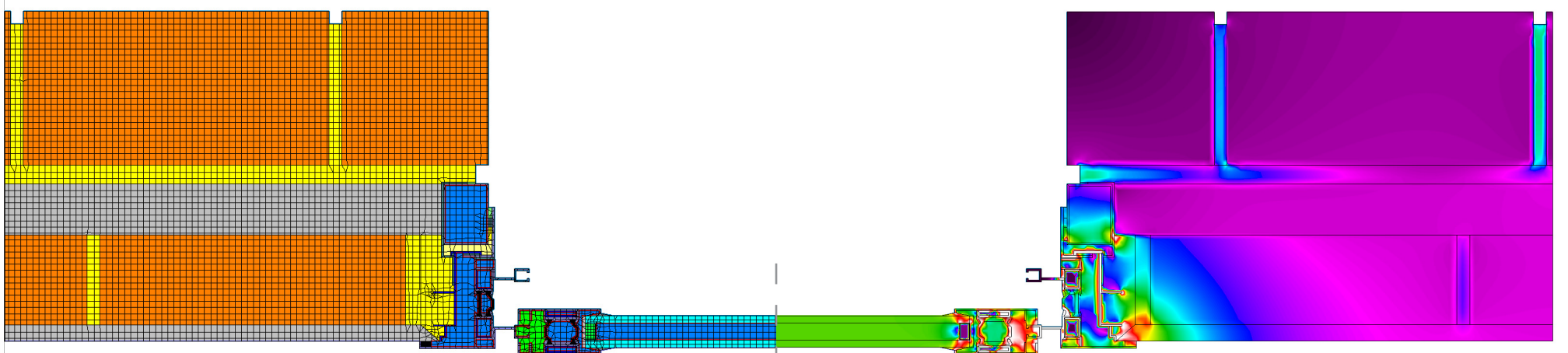


Materiales y Mallado

Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano



Materiales y Mallado

Flujo térmico

0.0 7.5 15.0 22.5 30.0 37.5 45.0 52.5 60.0

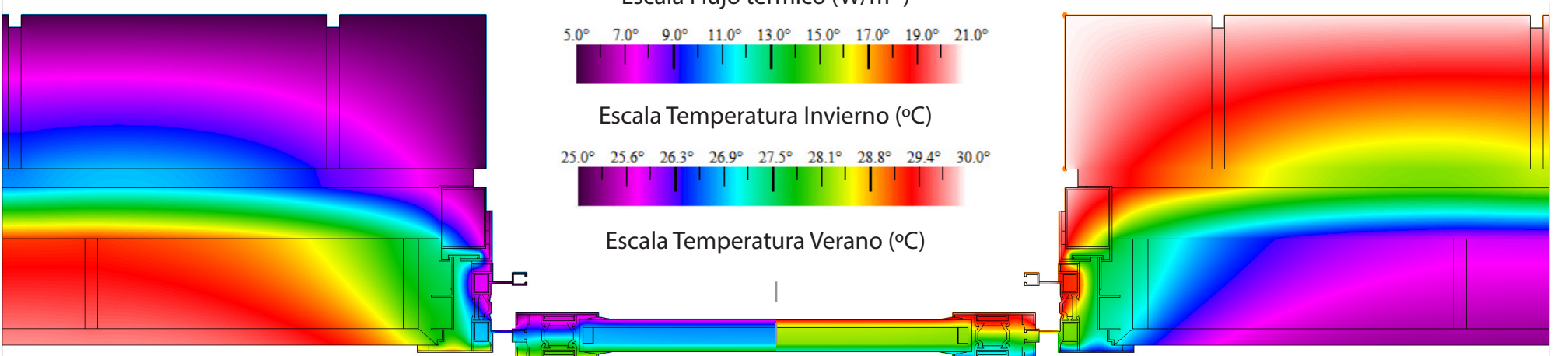
Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

5.0° 7.0° 9.0° 11.0° 13.0° 15.0° 17.0° 19.0° 21.0°

Escala Temperatura Invierno (°C)

25.0° 25.6° 26.3° 26.9° 27.5° 28.1° 28.8° 29.4° 30.0°

Escala Temperatura Verano (°C)

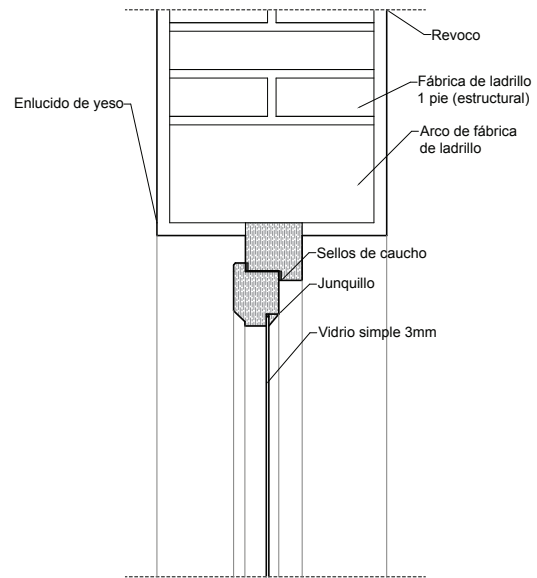


Temperatura Invierno

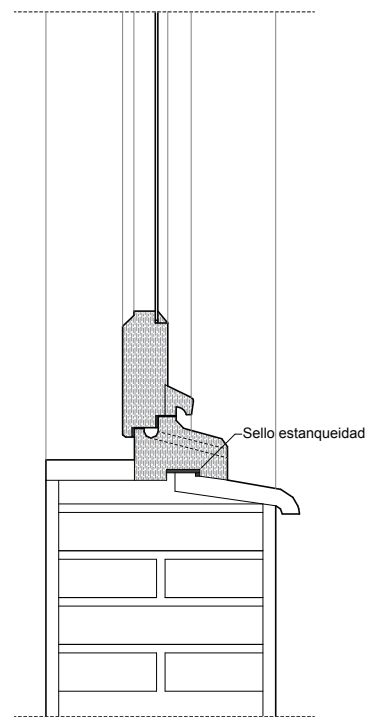
Temperatura Verano

## 9.2- Láminas de las soluciones propuestas a los puentes térmicos.

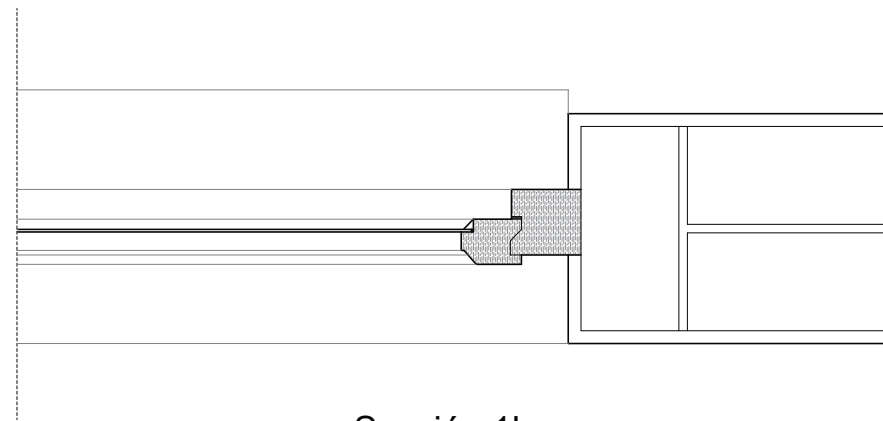
# SOL1a



Sección 1v2a



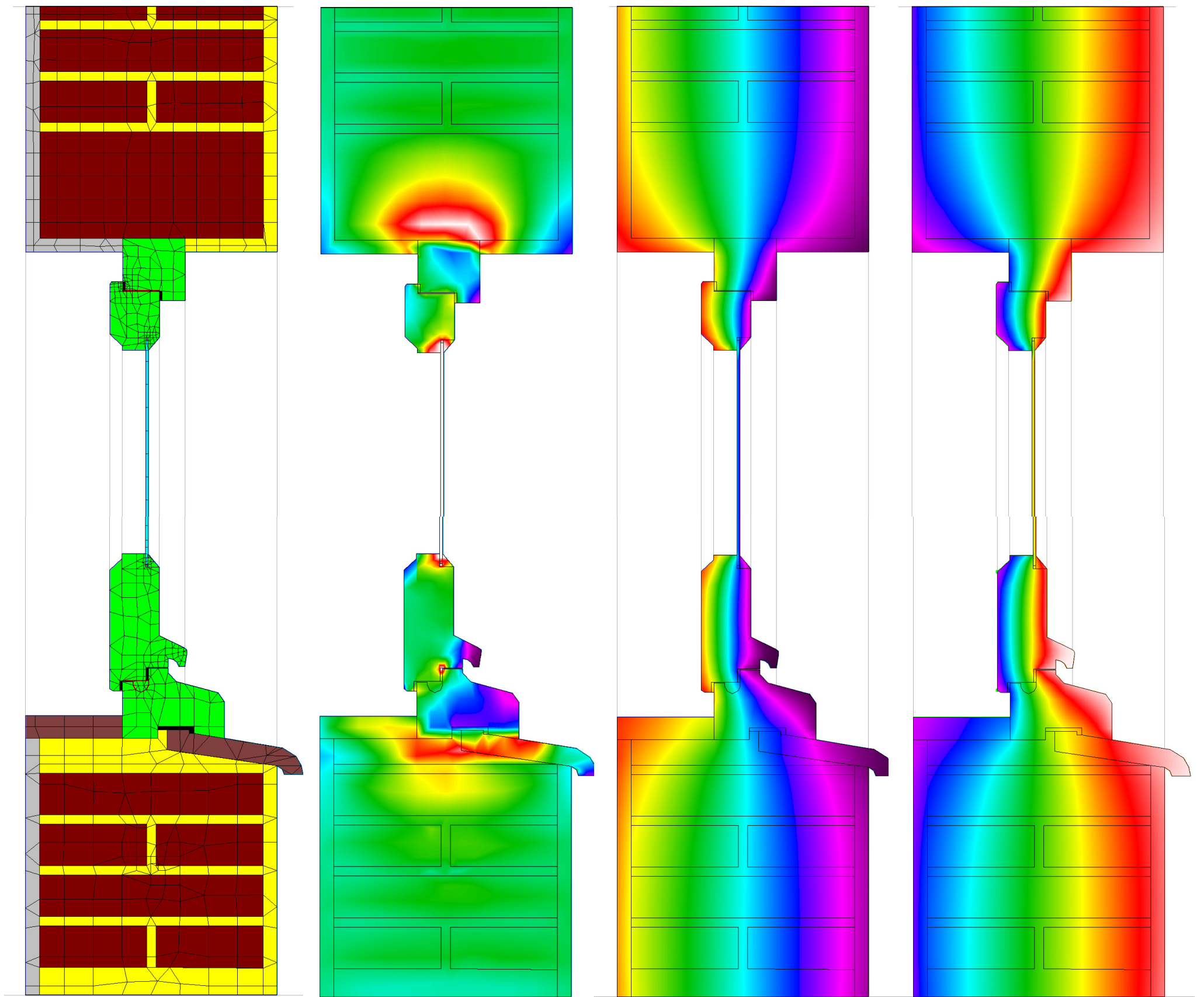
Sección 1v1a



Sección 1ha

Ventana de madera en cerramiento de fábrica de ladrillo de 1 pie (estructural).  
Solución a haces intermedio.



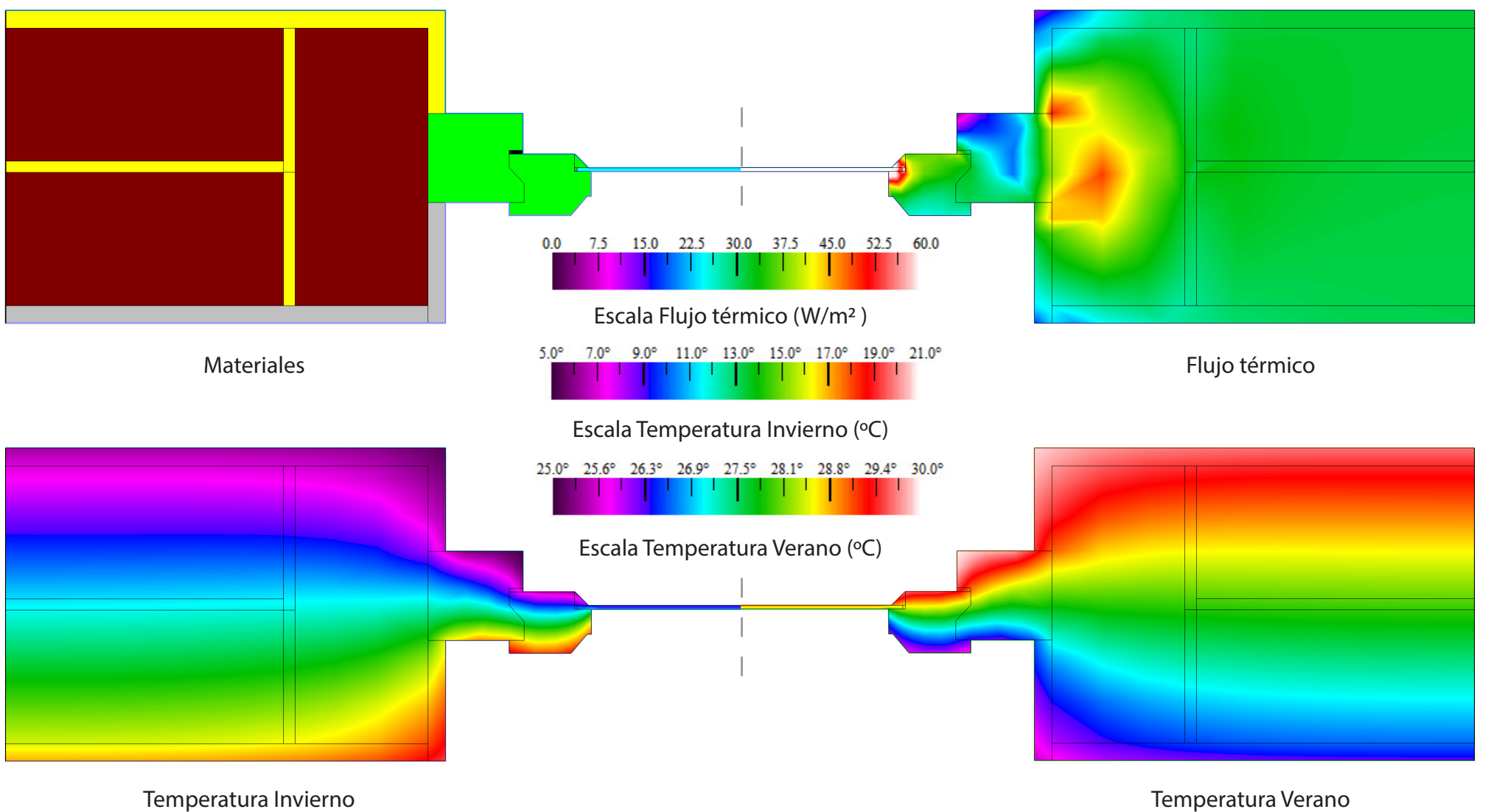


Materiales y mallado

Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano

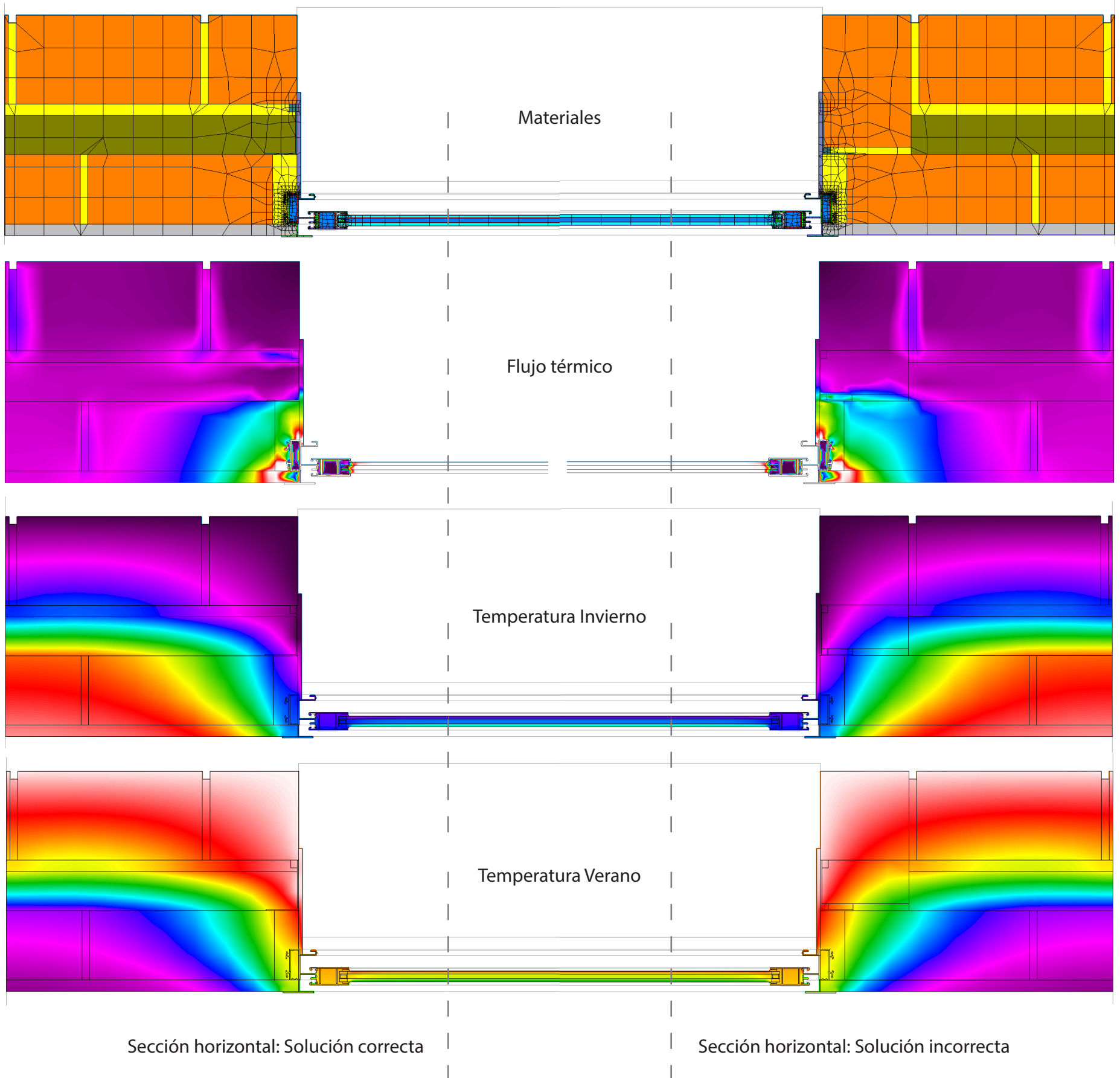


Materiales

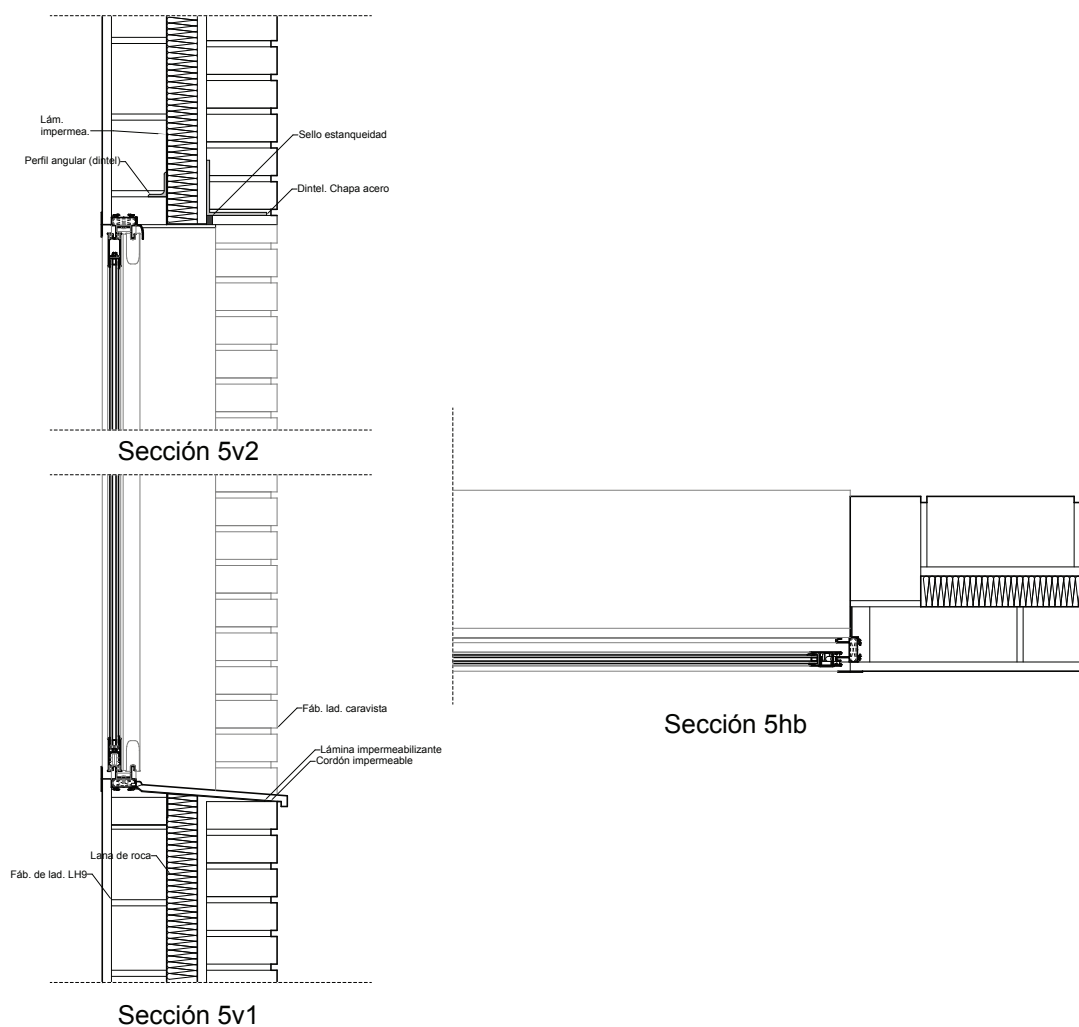
Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano



### SOL1b



0.0 7.5 15.0 22.5 30.0 37.5 45.0 52.5 60.0



Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

5.0° 7.0° 9.0° 11.0° 13.0° 15.0° 17.0° 19.0° 21.0°



Escala Temperatura Invierno (°C)

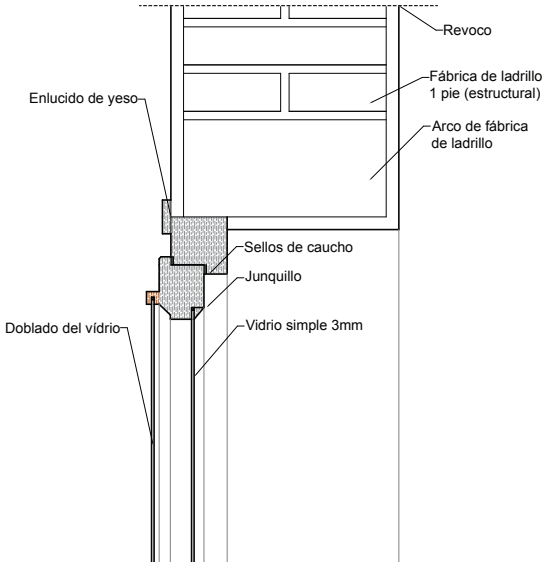
25.0° 25.6° 26.3° 26.9° 27.5° 28.1° 28.8° 29.4° 30.0°



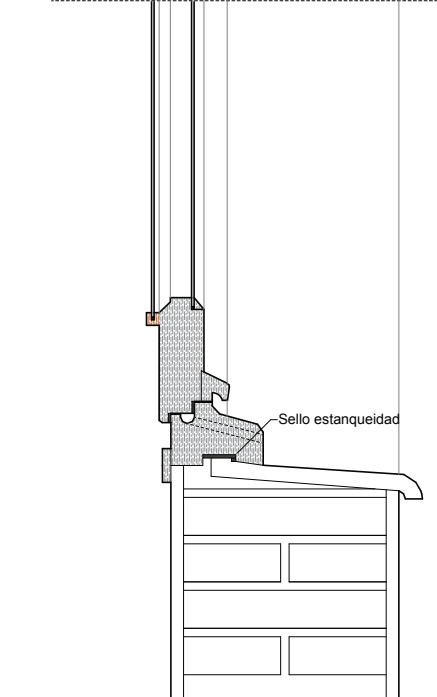
Escala Temperatura Verano (°C)

Ventana de aluminio corredera con vidrio doble en cerramiento de dos hojas con aislamiento térmico entre ellas. Solución incorrecta con jamba aparejada.

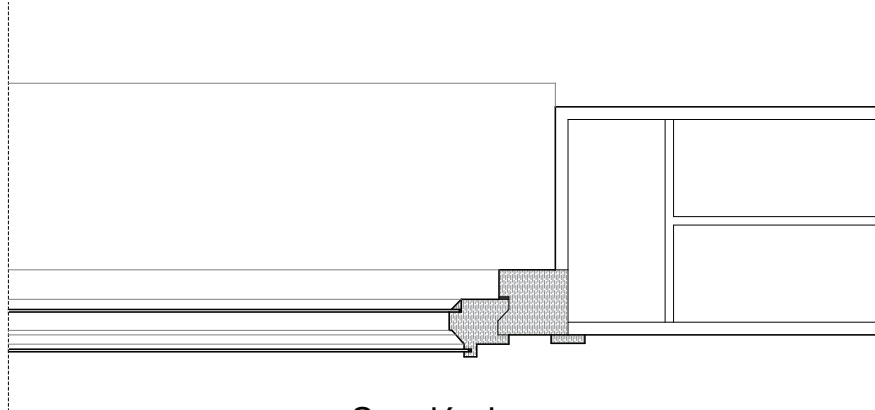
# SOL2



Sección v2b

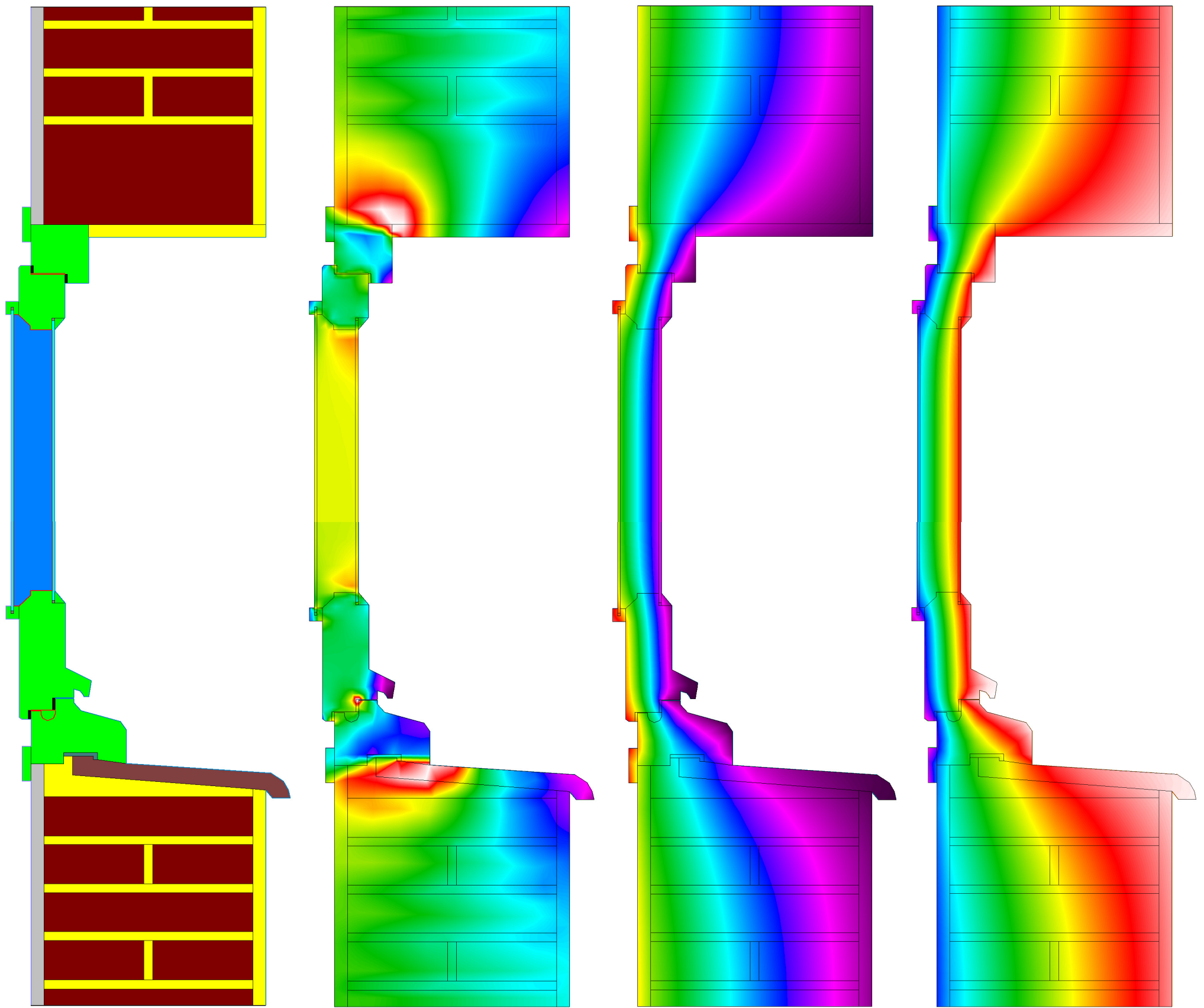


Sección v1b



Doblado del vidrio mediante la adición de hoja por el intradós. Creación de cámara no ventilada entre las hojas.



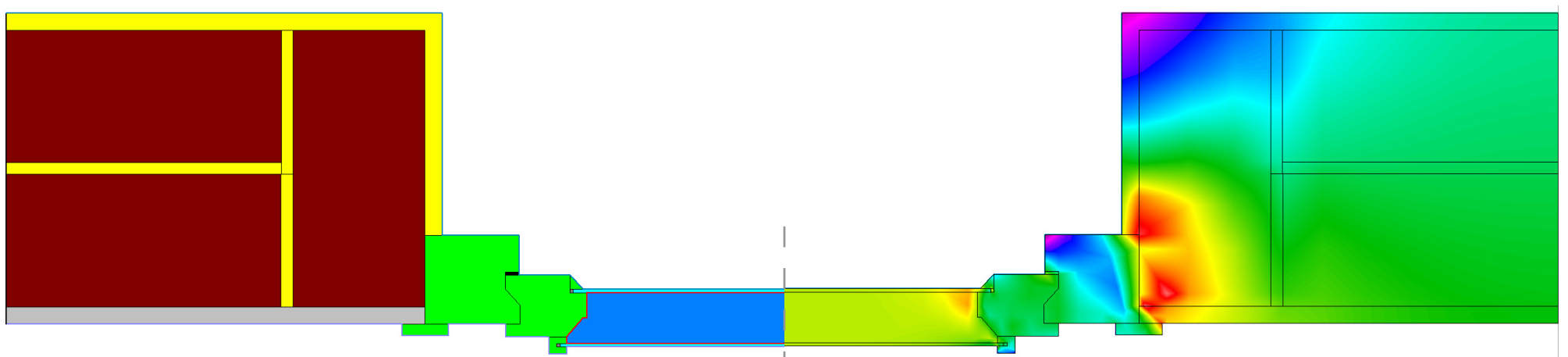


Materiales

Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano



Materiales

Flujo térmico

0.0 7.5 15.0 22.5 30.0 37.5 45.0 52.5 60.0



Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

5.0° 7.0° 9.0° 11.0° 13.0° 15.0° 17.0° 19.0° 21.0°

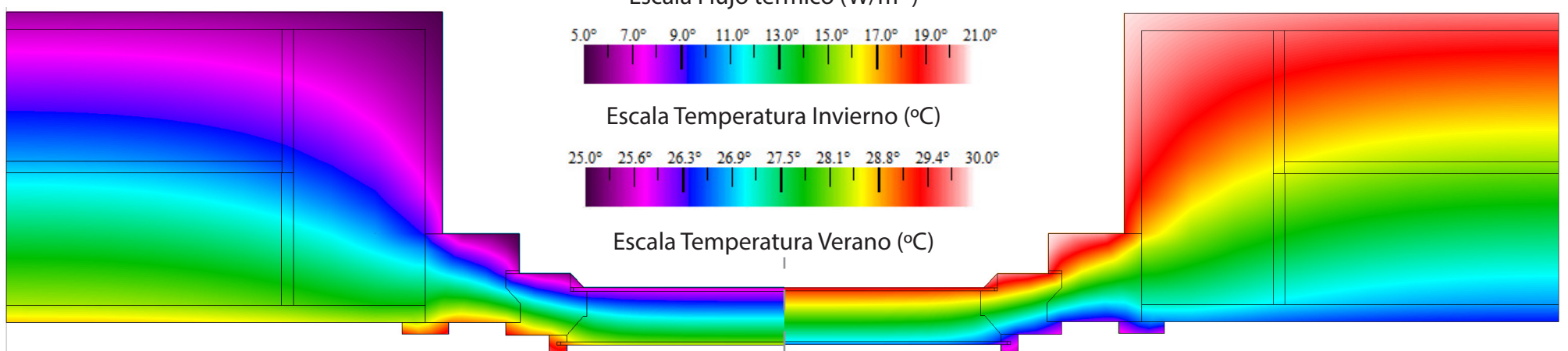


Escala Temperatura Invierno (°C)

25.0° 25.6° 26.3° 26.9° 27.5° 28.1° 28.8° 29.4° 30.0°



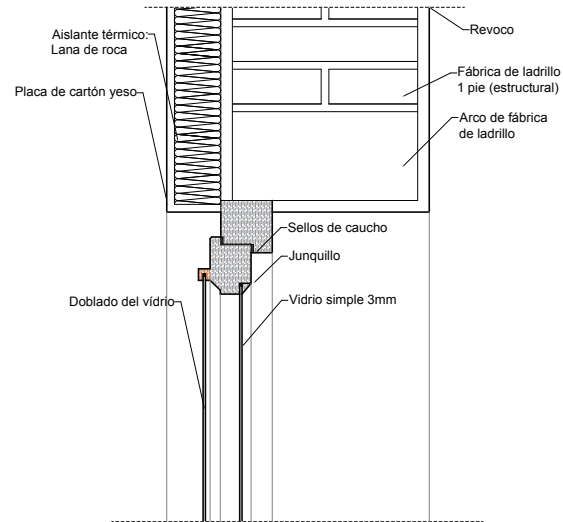
Escala Temperatura Verano (°C)



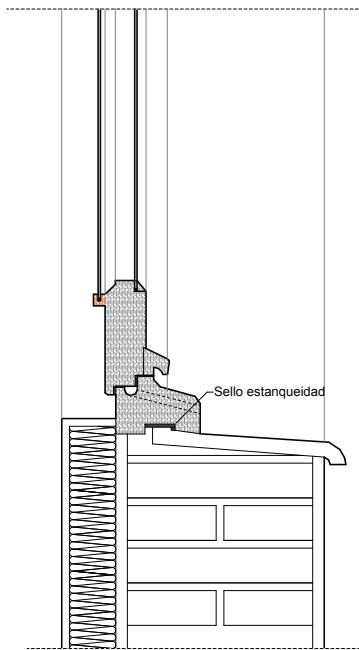
Temperatura Invierno

Temperatura Verano

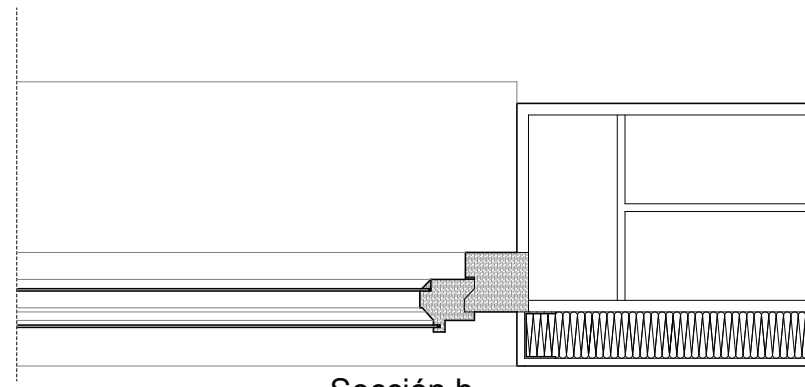
# SOL3



Sección v2b

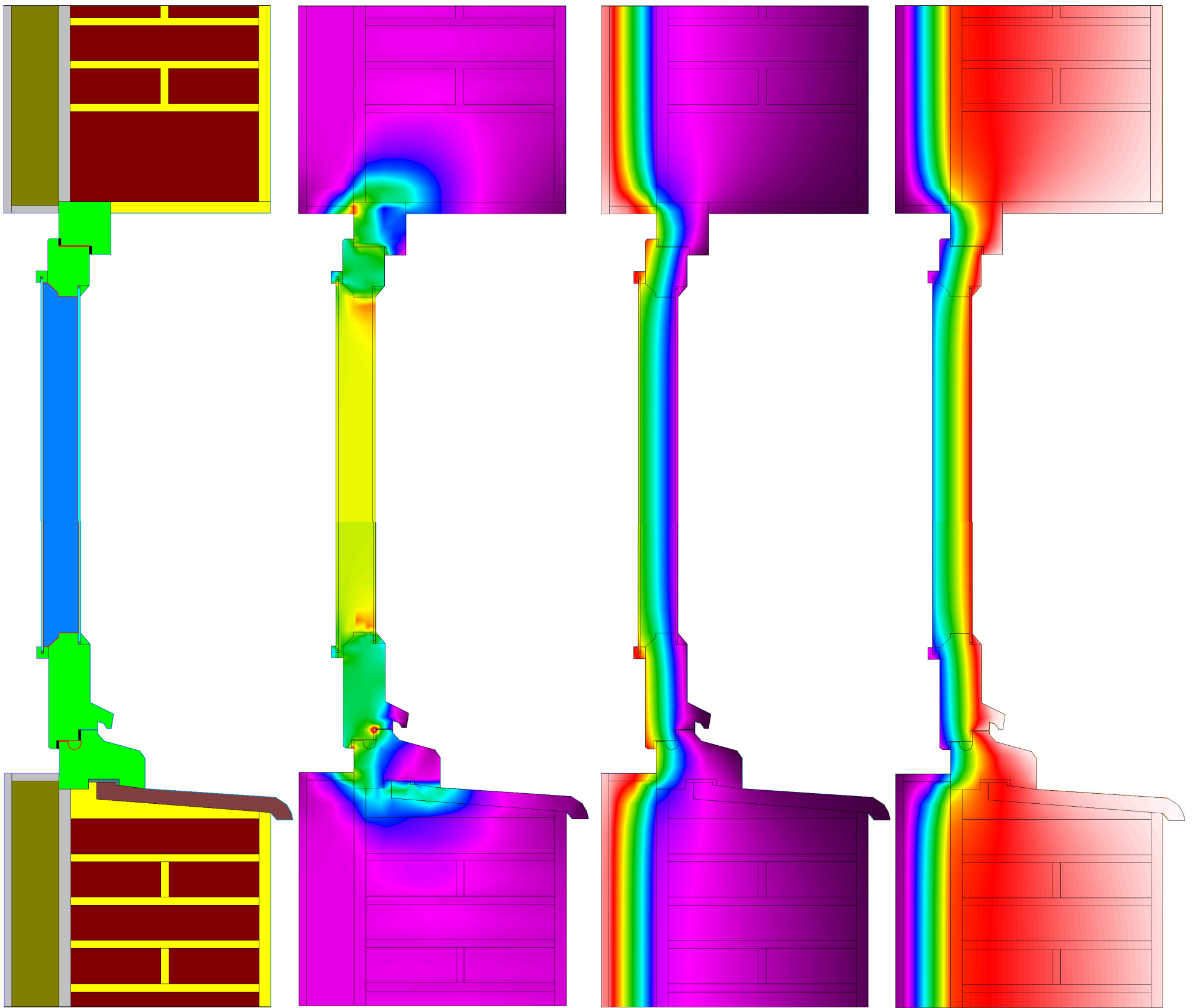


Sección v1b



Sección h

Hipótesis de rehabilitación energética en edificio protegido: Adición de nueva hoja de cartón yeso en el intradós y aislante térmico.

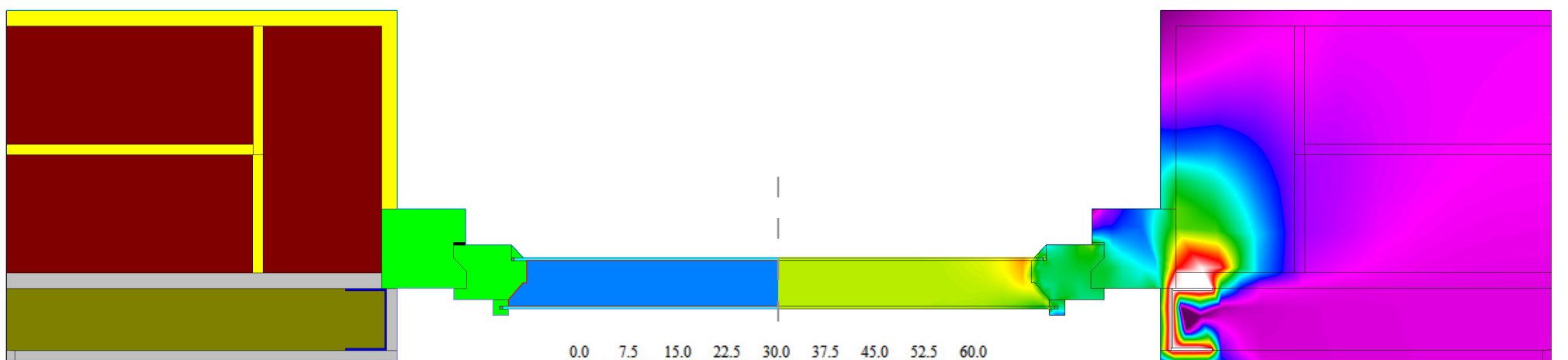


Materiales

Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano



Materiales

Flujo térmico

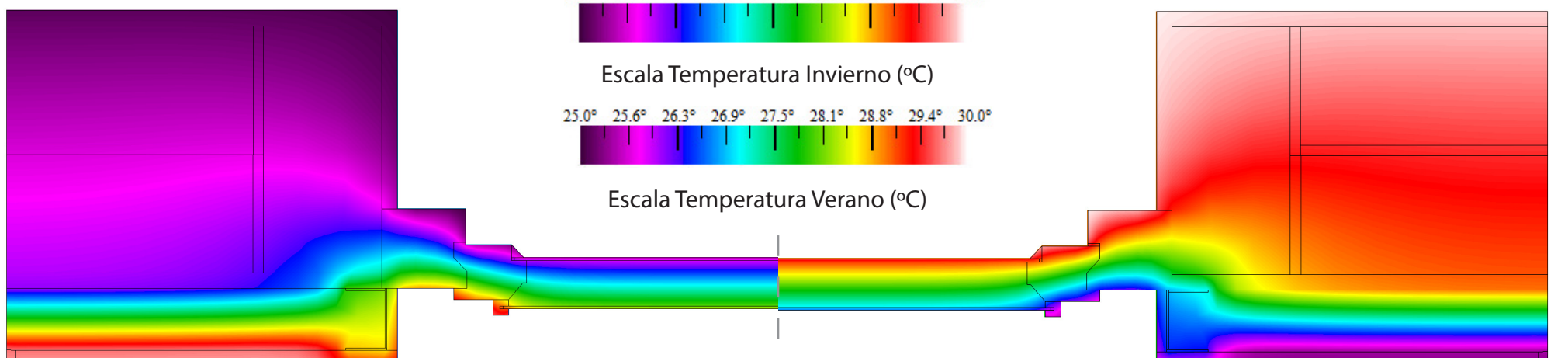
Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

5.0° 7.0° 9.0° 11.0° 13.0° 15.0° 17.0° 19.0° 21.0°

Escala Temperatura Invierno (°C)

25.0° 25.6° 26.3° 26.9° 27.5° 28.1° 28.8° 29.4° 30.0°

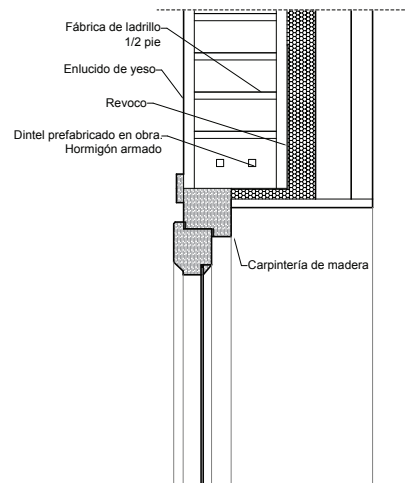
Escala Temperatura Verano (°C)



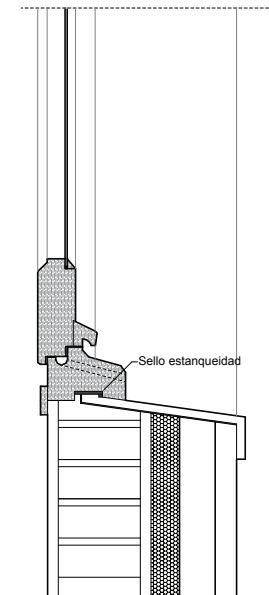
Temperatura Invierno

Temperatura Verano

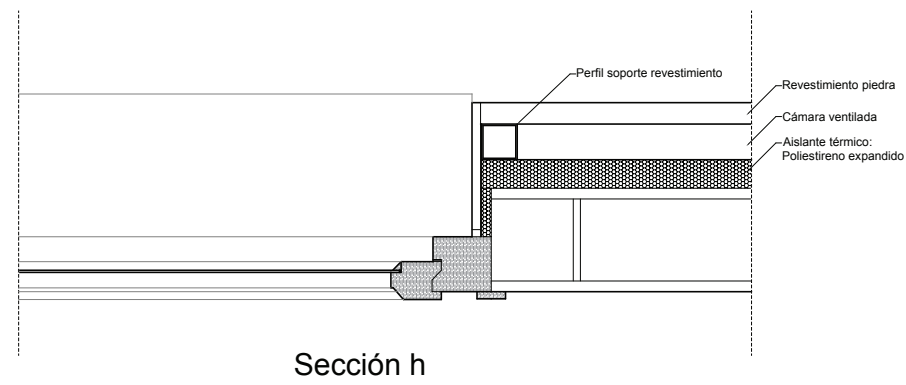
# SOL4



Sección v2



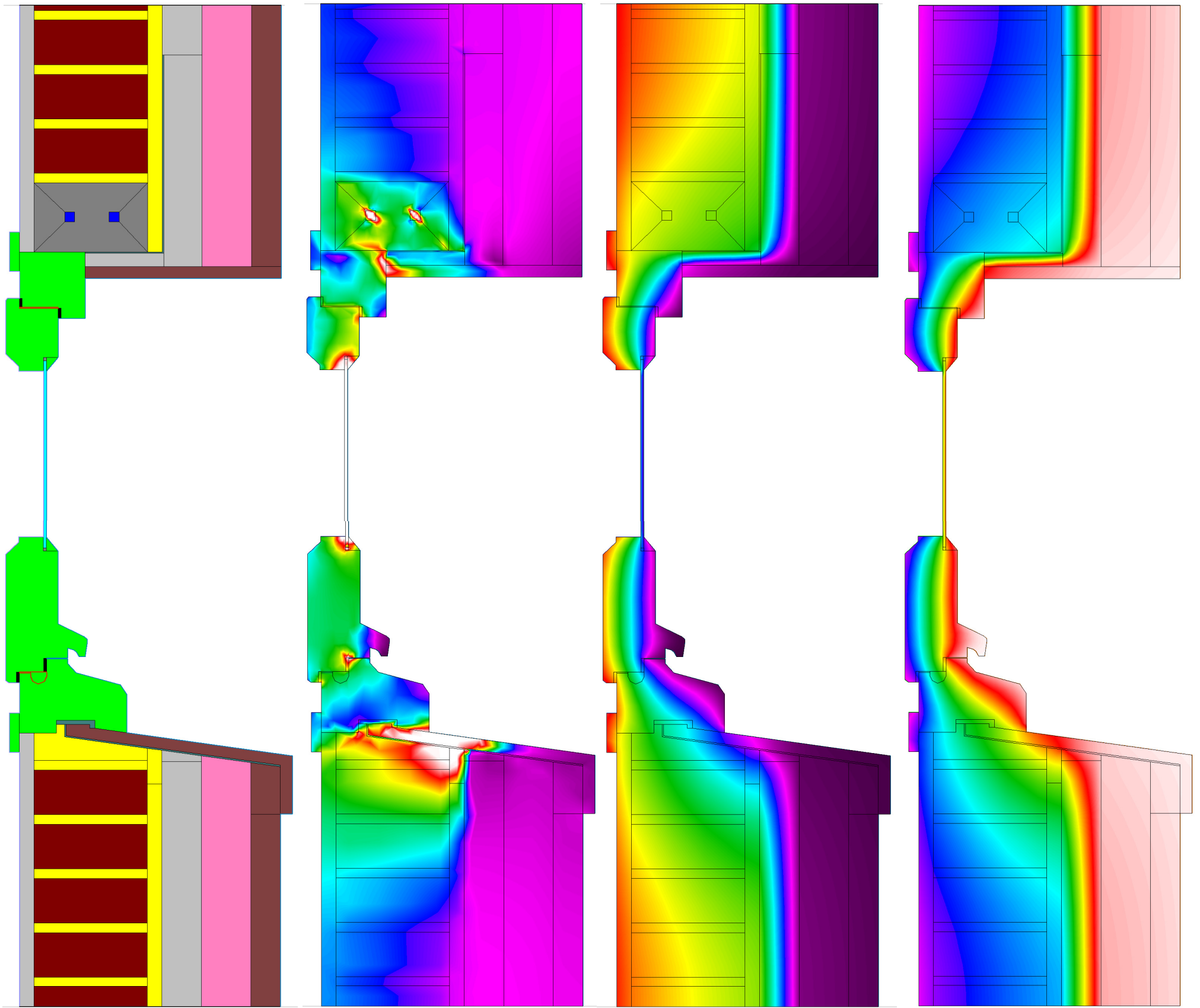
Sección v1



Sección h

Hipótesis de nueva hoja por el exterior.  
"Fachada ventilada"



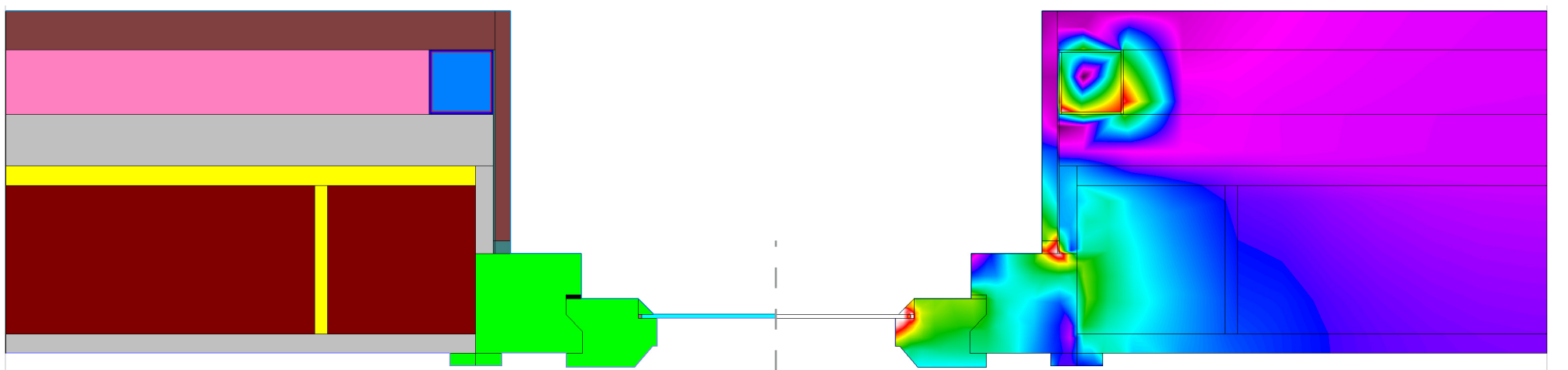


Materiales

Flujo térmico

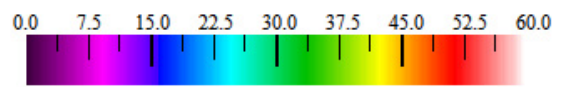
Temperatura Invierno

Temperatura Verano

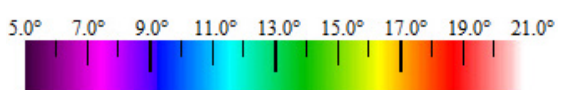


Materiales

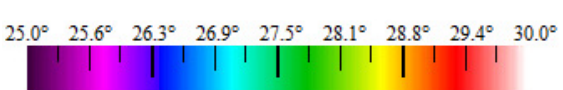
Flujo térmico



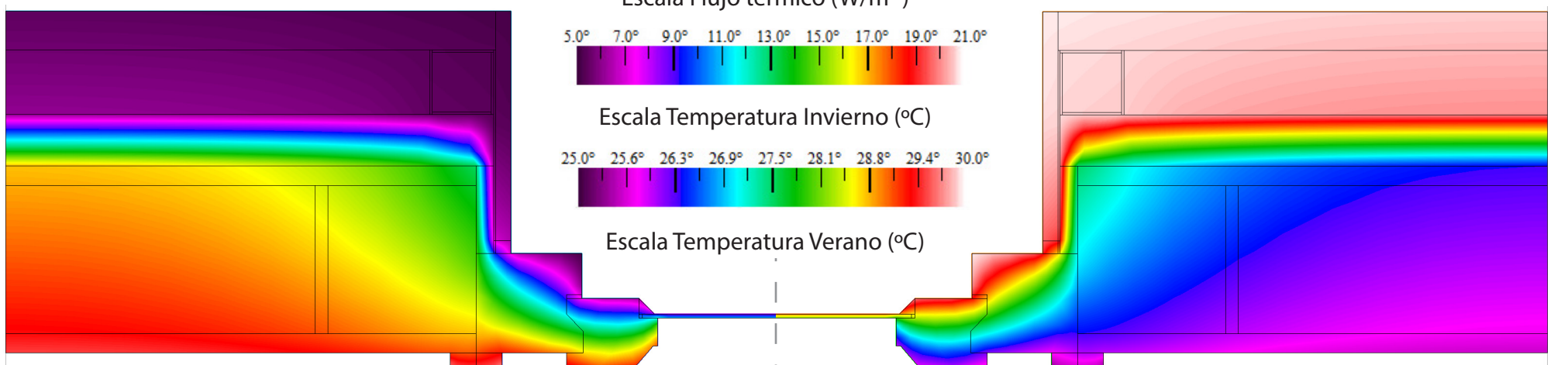
Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)



Escala Temperatura Invierno (°C)



Escala Temperatura Verano (°C)

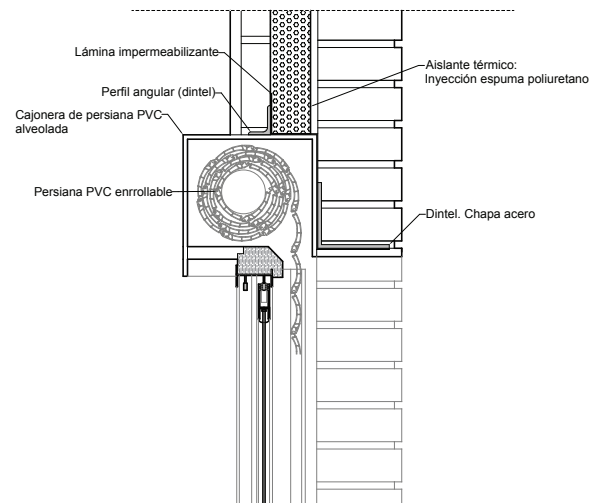


Temperatura Invierno

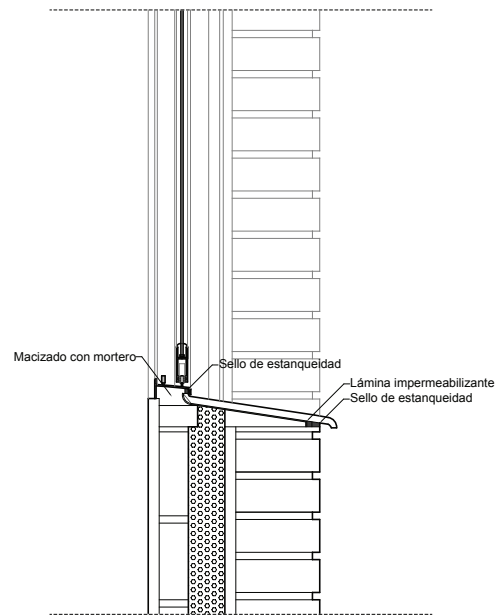
Temperatura Verano



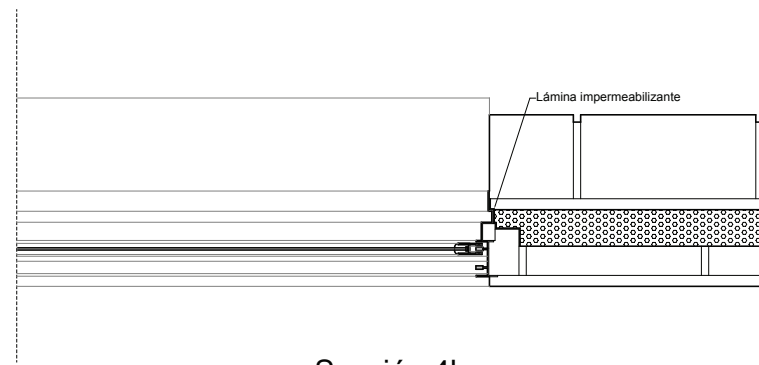
# SOL5



Sección 4v2

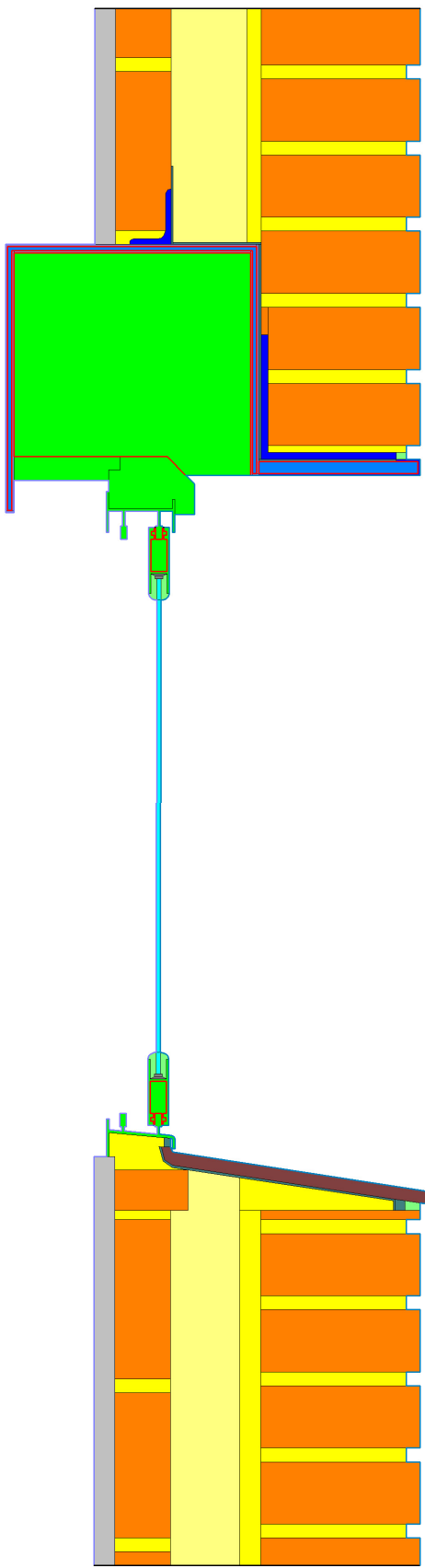


Sección 4v1

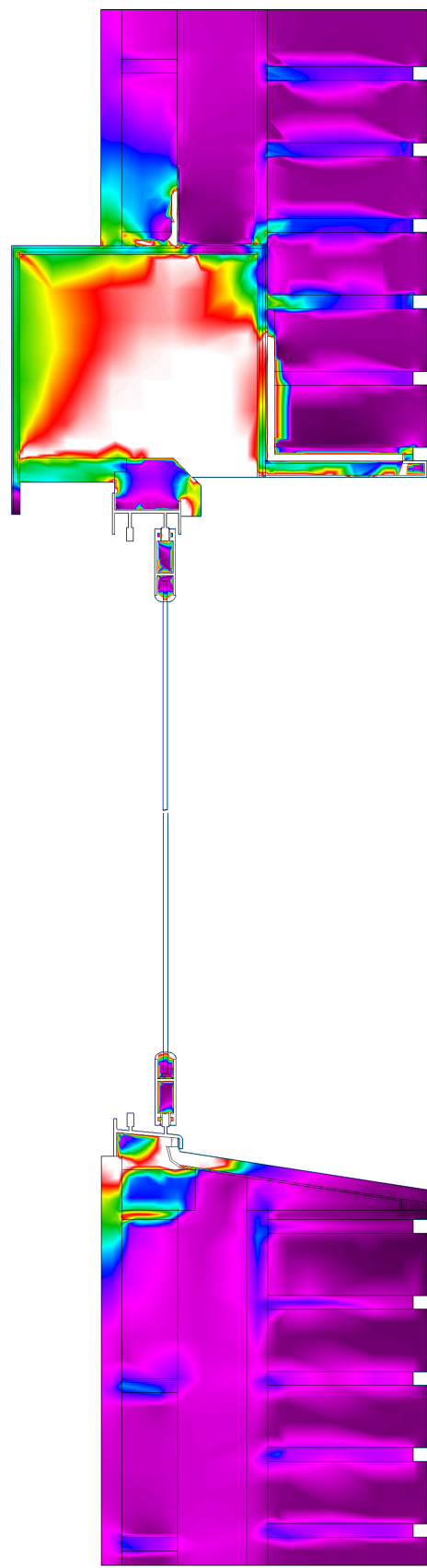


Sección 4h

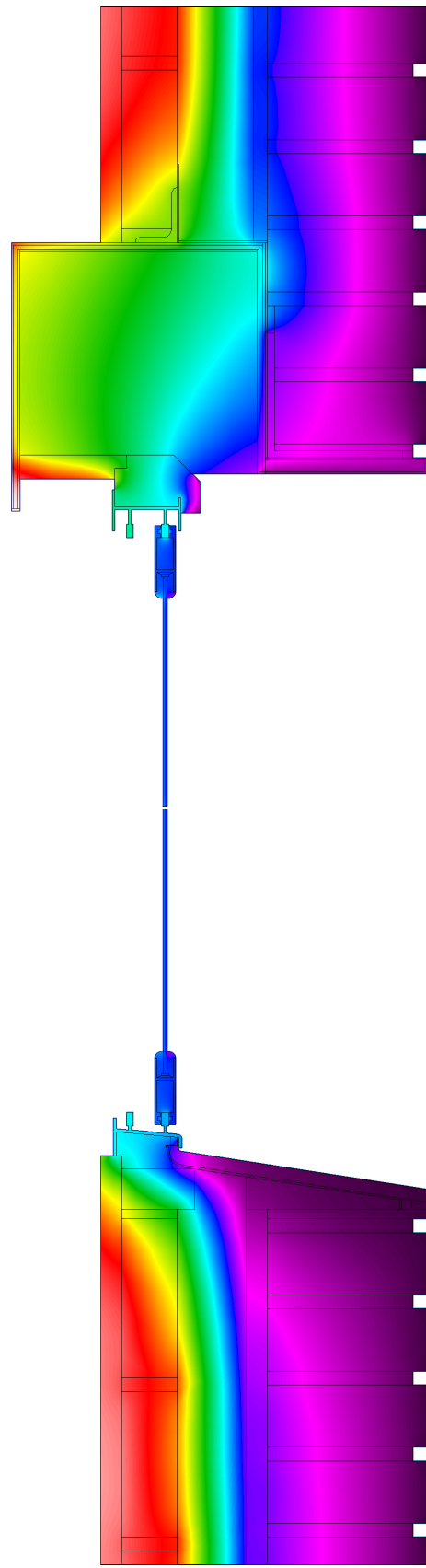
Ventana de aluminio corredera con vidrio simple en cerramiento de fábrica de ladrillo de dos hojas con aislamiento inyectado de espuma de poliuretano.



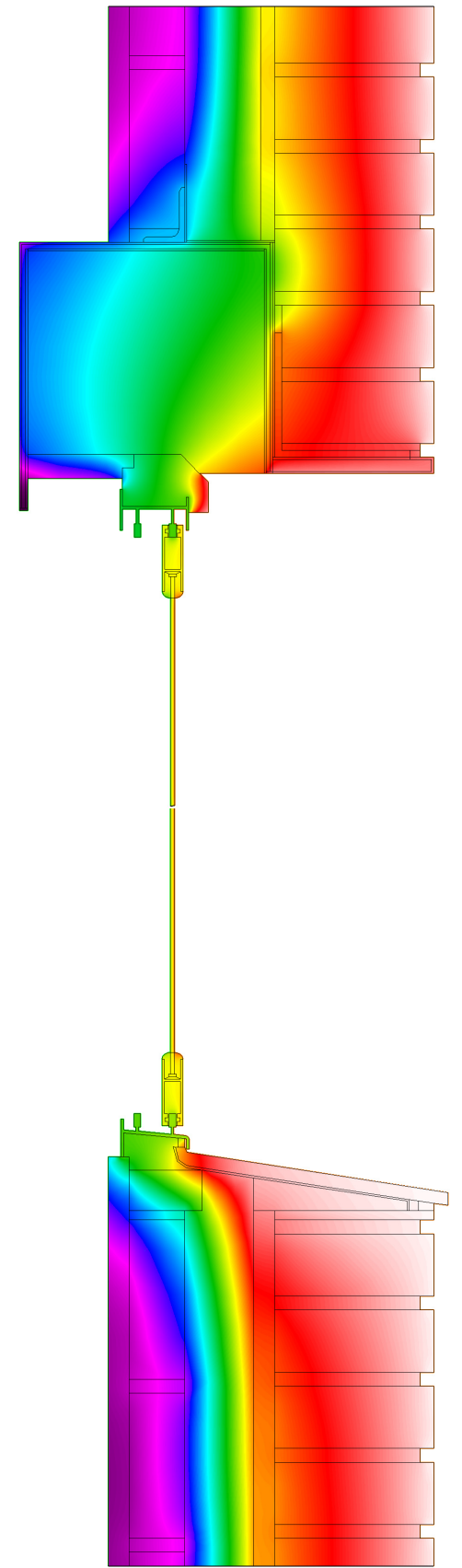
Materiales



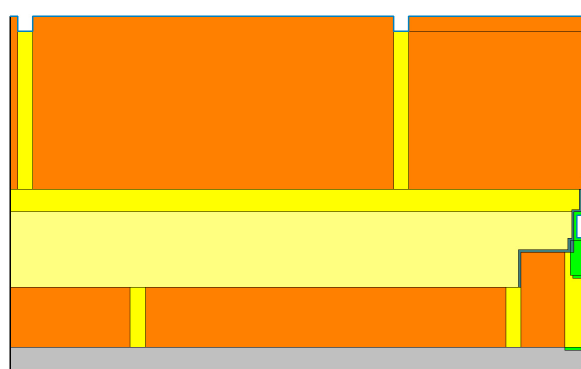
Flujo térmico



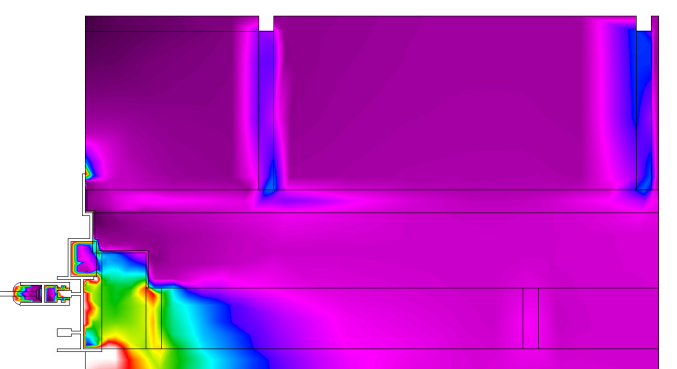
Temperatura Invierno



Temperatura Verano



Materiales



Flujo térmico

0.0 7.5 15.0 22.5 30.0 37.5 45.0 52.5 60.0



Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

5.0° 7.0° 9.0° 11.0° 13.0° 15.0° 17.0° 19.0° 21.0°

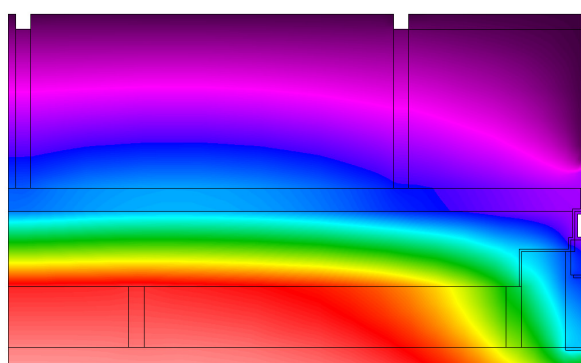


Escala Temperatura Invierno (°C)

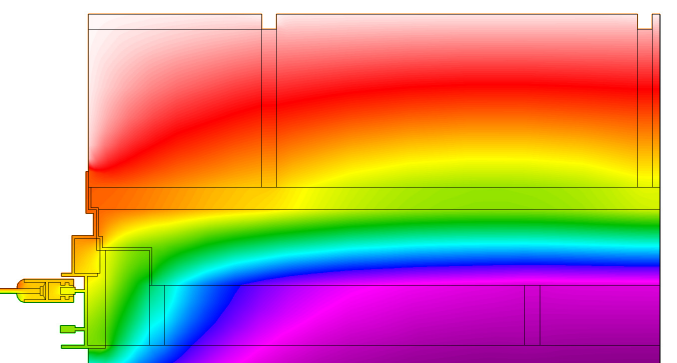
25.0° 25.6° 26.3° 26.9° 27.5° 28.1° 28.8° 29.4° 30.0°



Escala Temperatura Verano (°C)

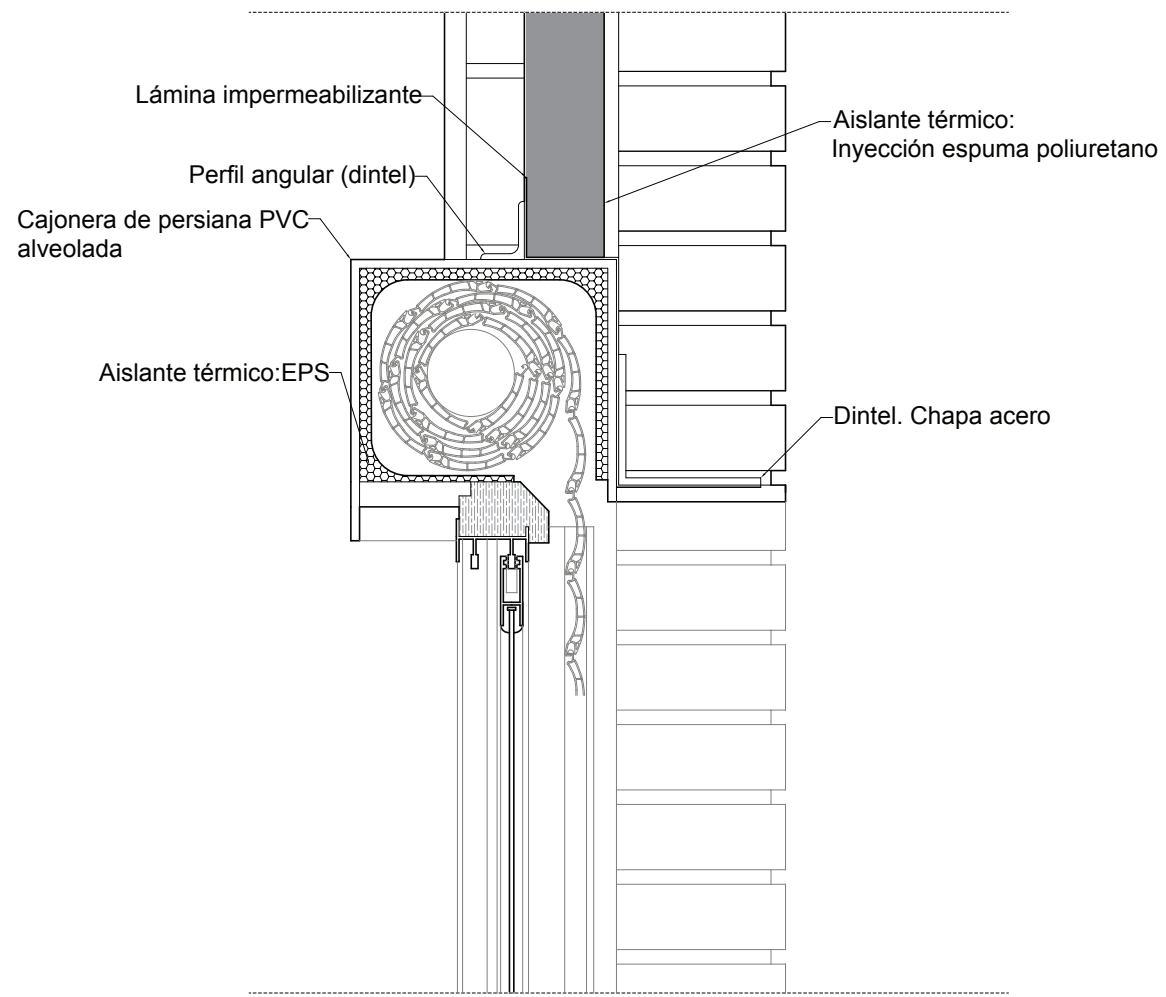


Temperatura Invierno

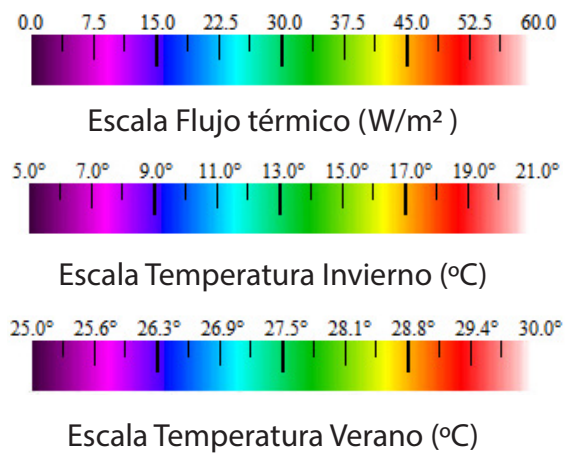


Temperatura Verano

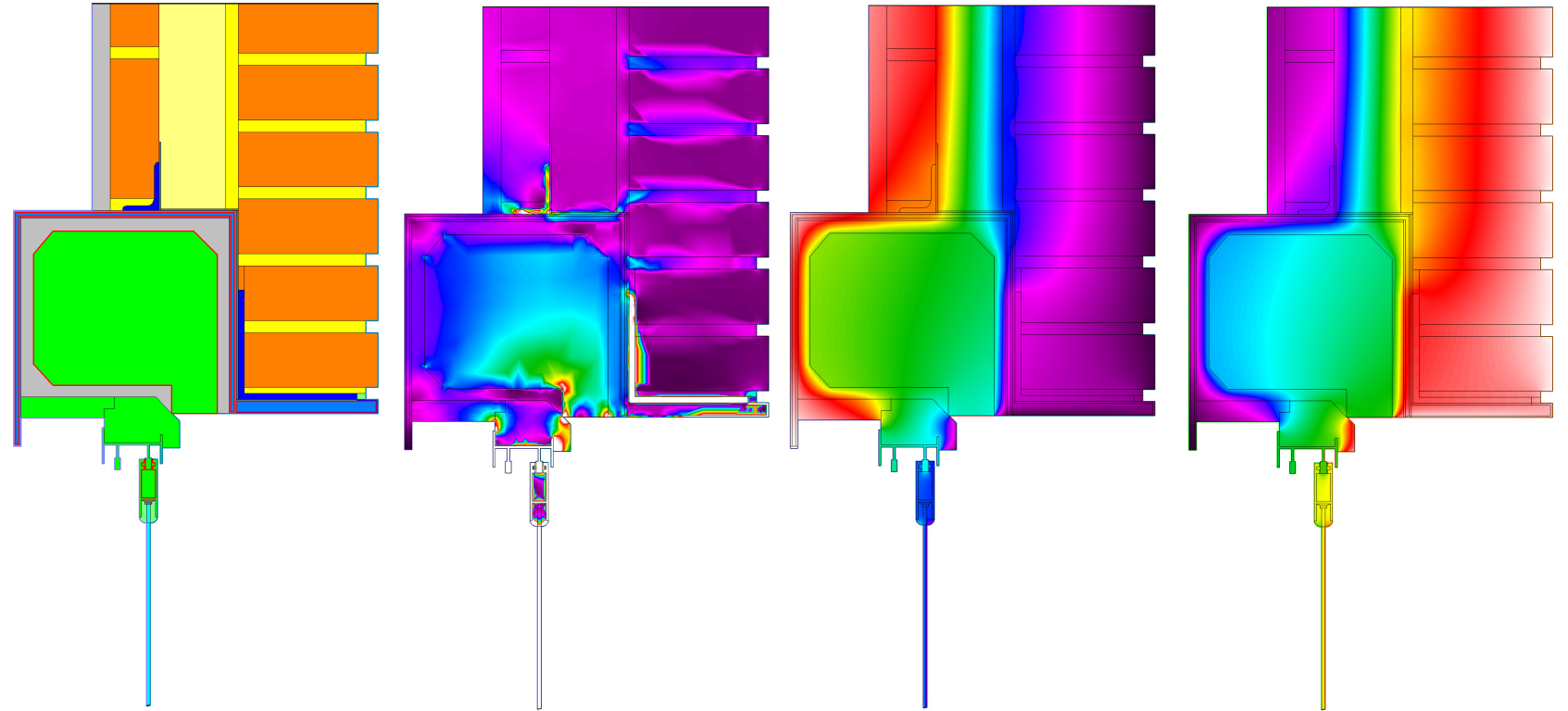
# SOL6



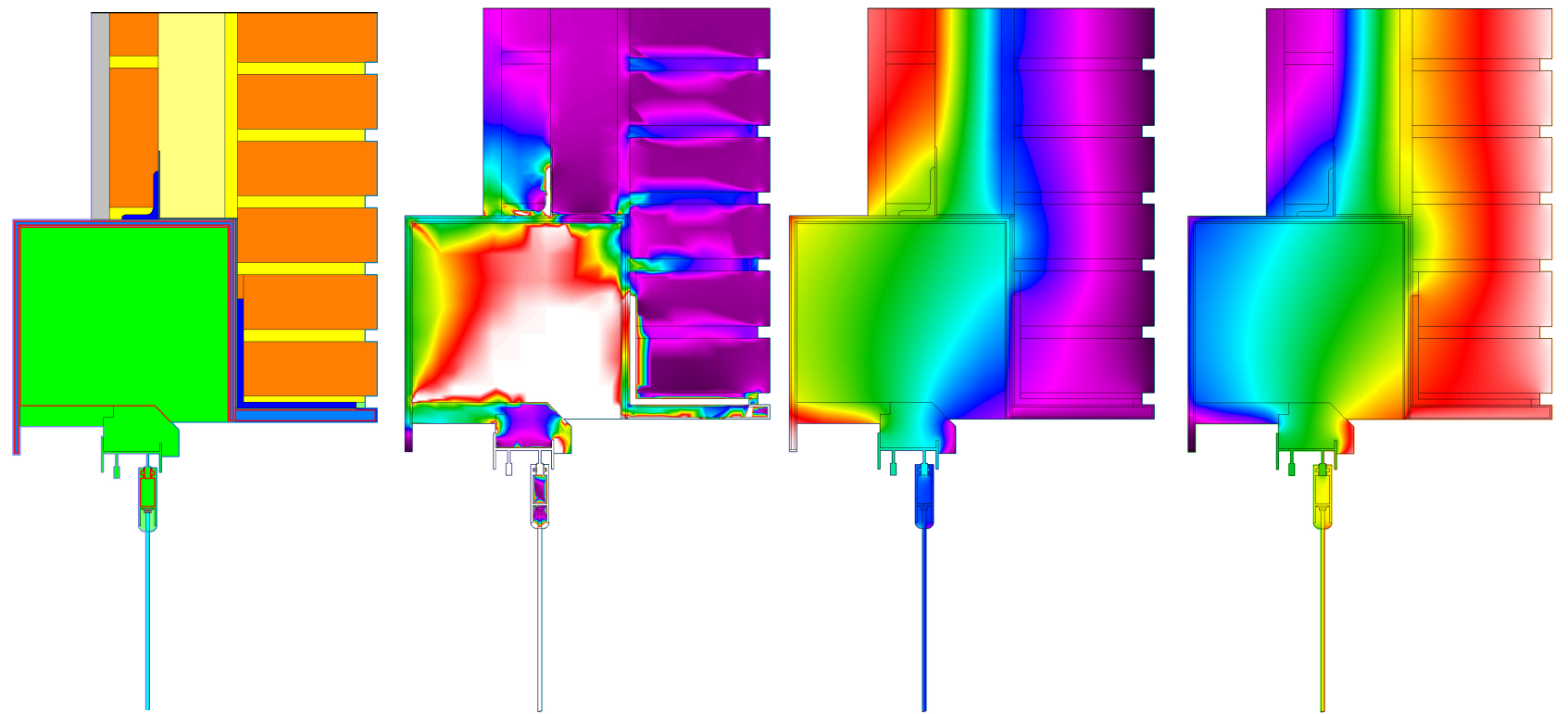
Ventana de aluminio corredera con vidrio simple en cerramiento de fábrica de ladrillo de dos hojas con aislamiento térmico inyectado de espuma de poliuretano. Caja de persiana aislada mediante planchas de EPS.



Sección vertical: Caja de persiana con aislamiento térmico



Sección vertical: Caja de persiana sin aislamiento térmico



Materiales

Flujo térmico

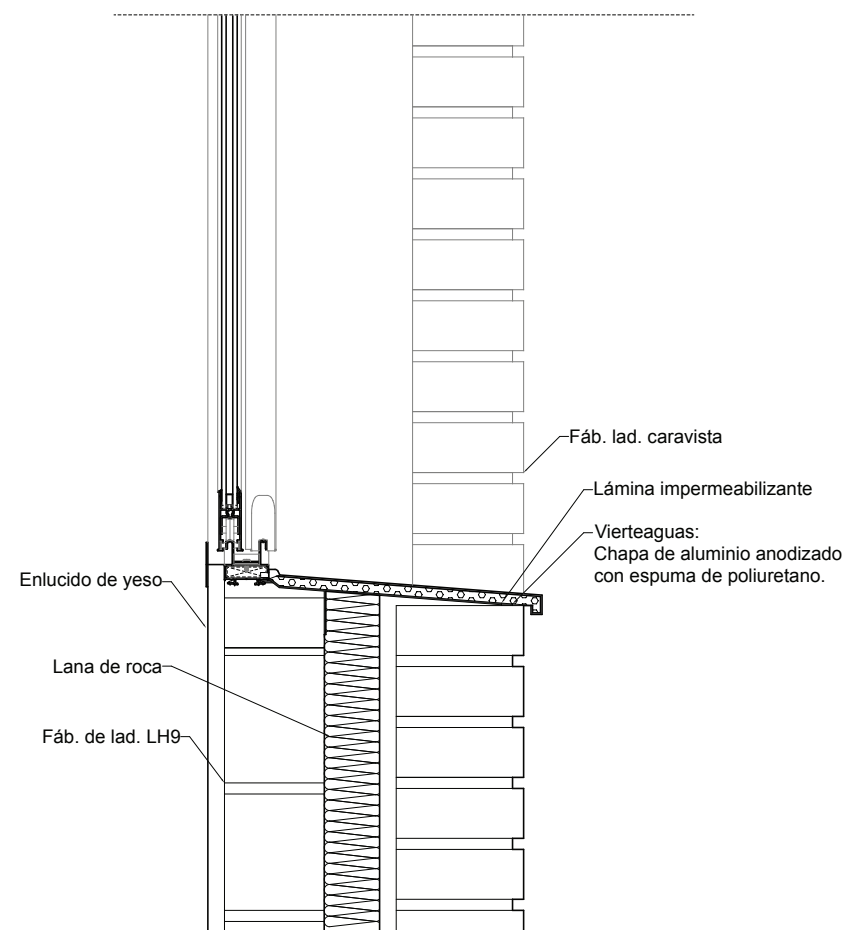
Temperatura Invierno

Temperatura Verano



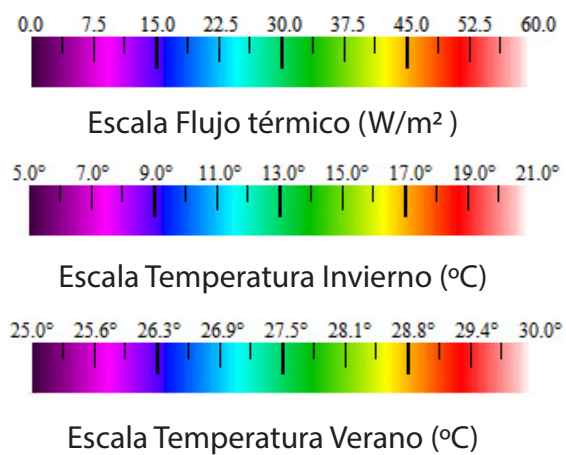
SOL7

Sección 5v2

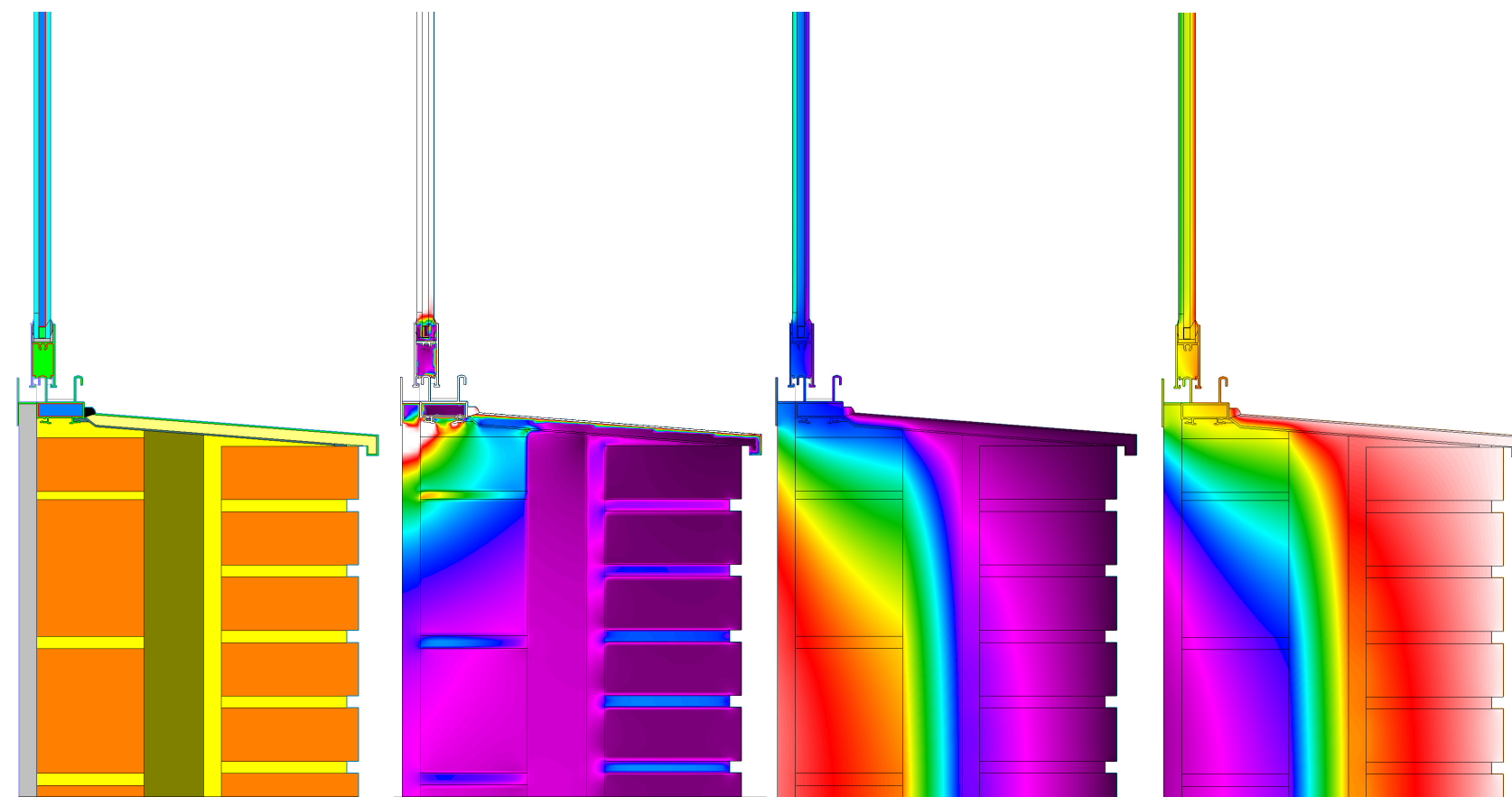


Sección 5v1

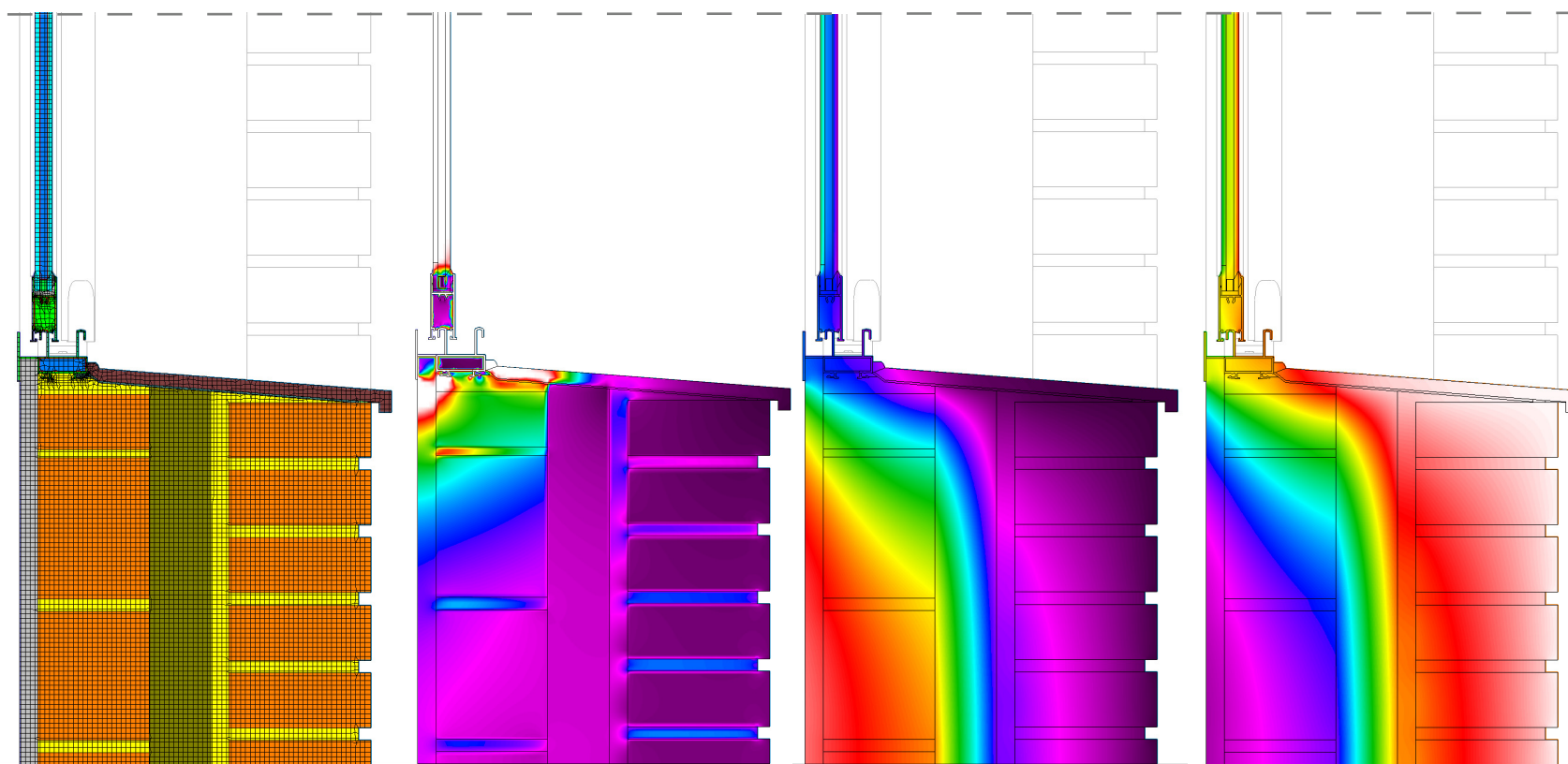
Ventana de aluminio corredera con vidrio doble en cerramiento de dos hojas con aislamiento térmico entre ellas. Vierteaguas de chapa plegada relleno de espuma de poliuretano.



Sección vertical: Vierteaguas chapa plegada con aislamiento térmico



Sección vertical: Vierteaguas de piedra artificial



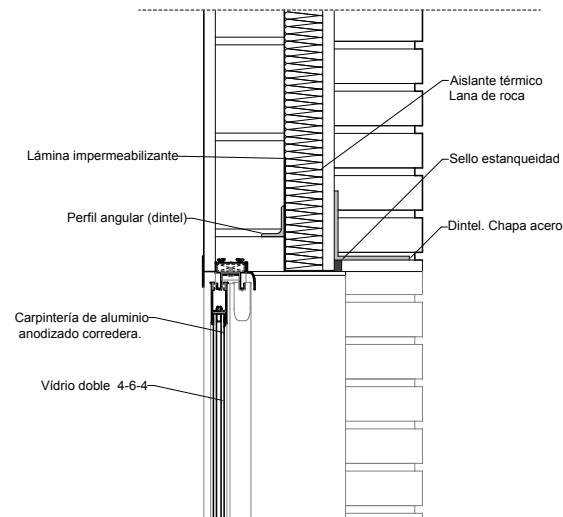
Materials

Flujo térmico

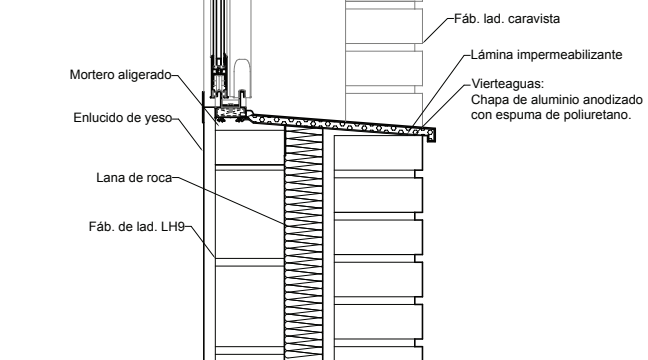
Temperatura Invierno

Temperatura Verano

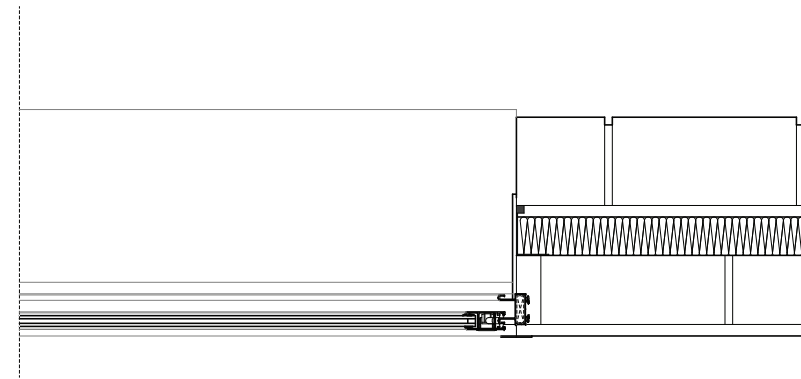
# SOL8



Sección 5v2

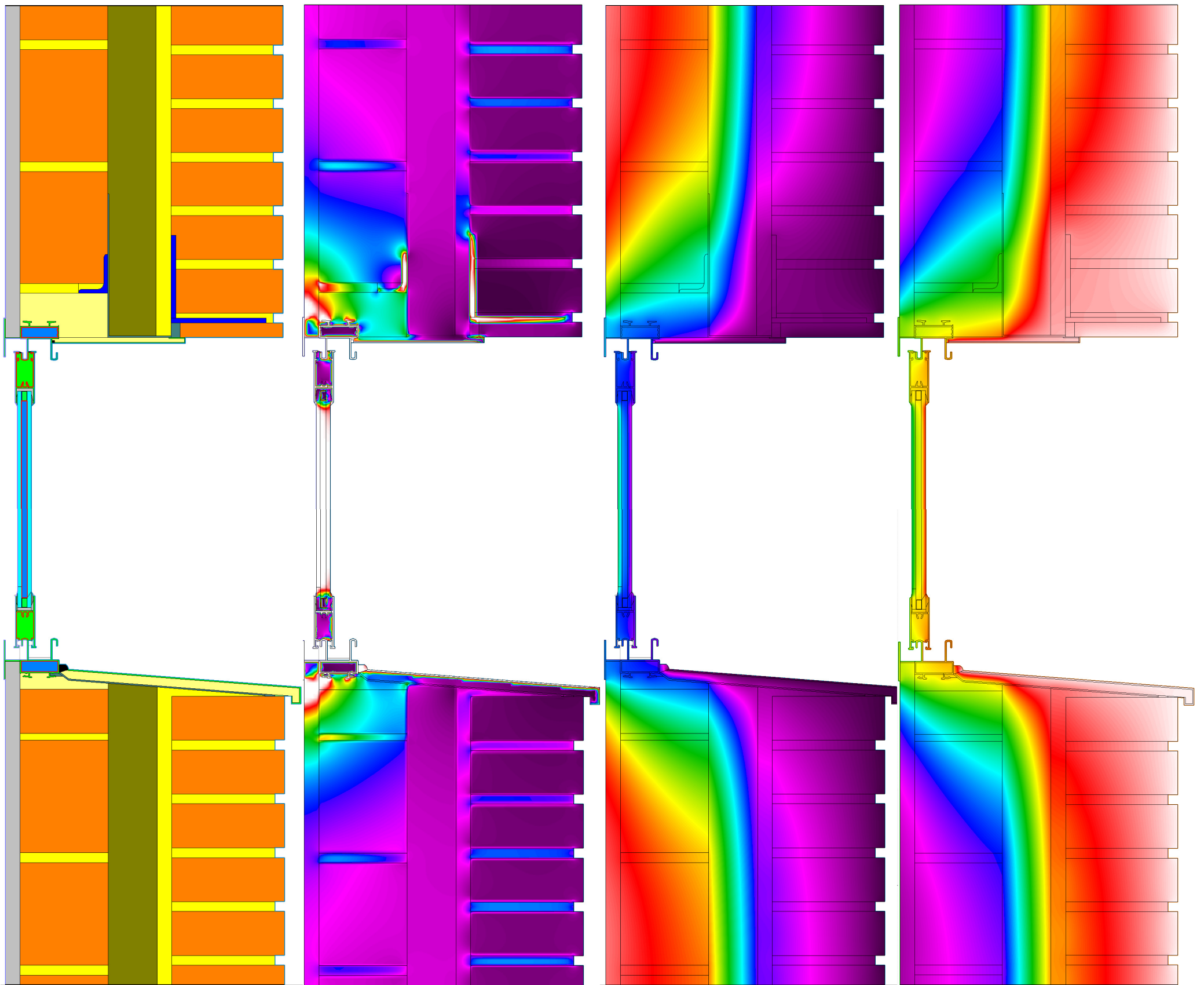


Sección 5v1



Sección 5ha

Ventana de aluminio corredera con vidrio doble en cerramiento de dos hojas con aislamiento térmico entre ellas. Vierteaguas hueco con espuma de poliuretano. Premarco asentado y macizado sobre mortero aligerado.

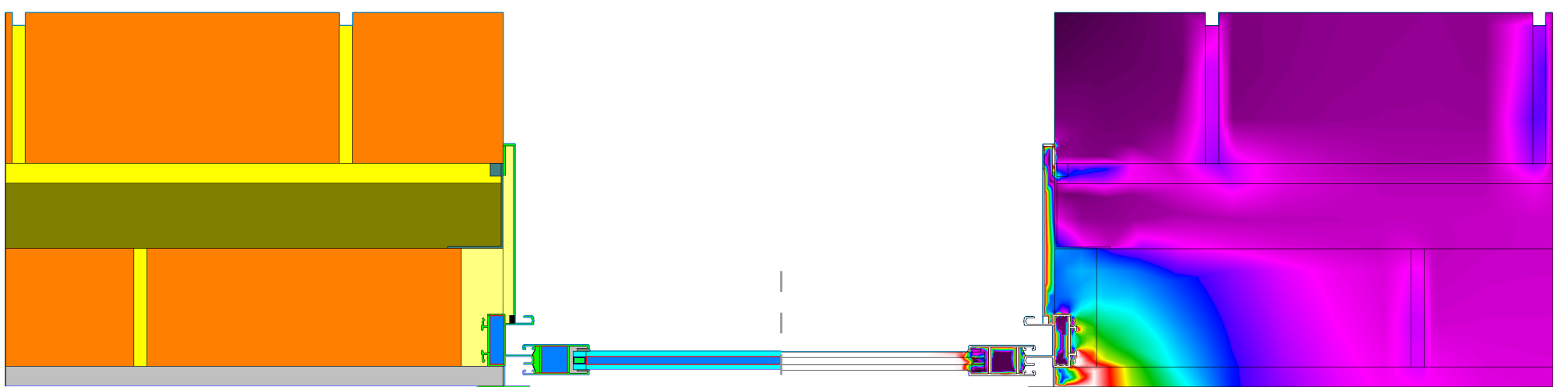


Materiales

Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano



Materiales

Flujo térmico

0.0 7.5 15.0 22.5 30.0 37.5 45.0 52.5 60.0

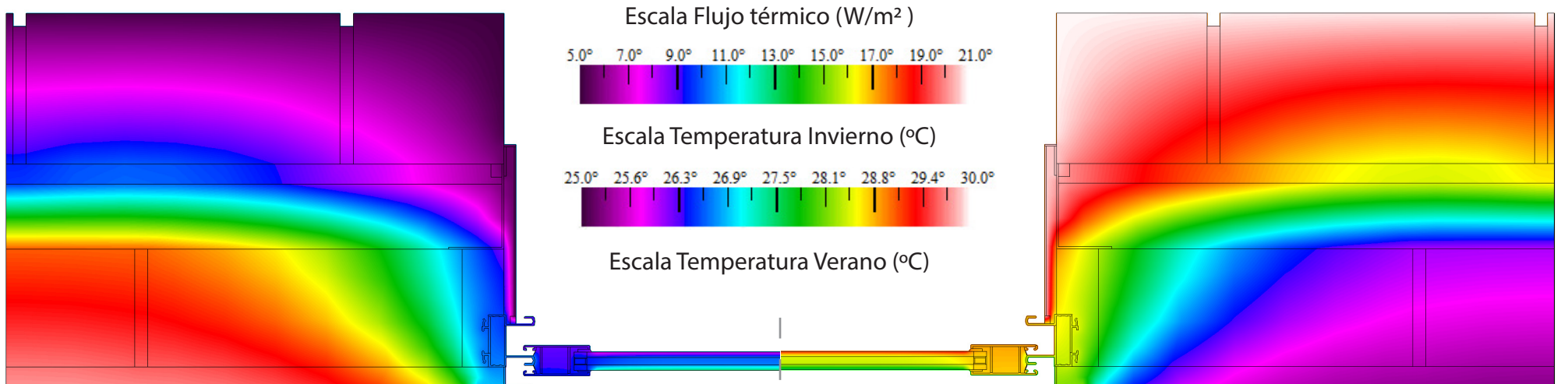
Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

5.0° 7.0° 9.0° 11.0° 13.0° 15.0° 17.0° 19.0° 21.0°

Escala Temperatura Invierno (°C)

25.0° 25.6° 26.3° 26.9° 27.5° 28.1° 28.8° 29.4° 30.0°

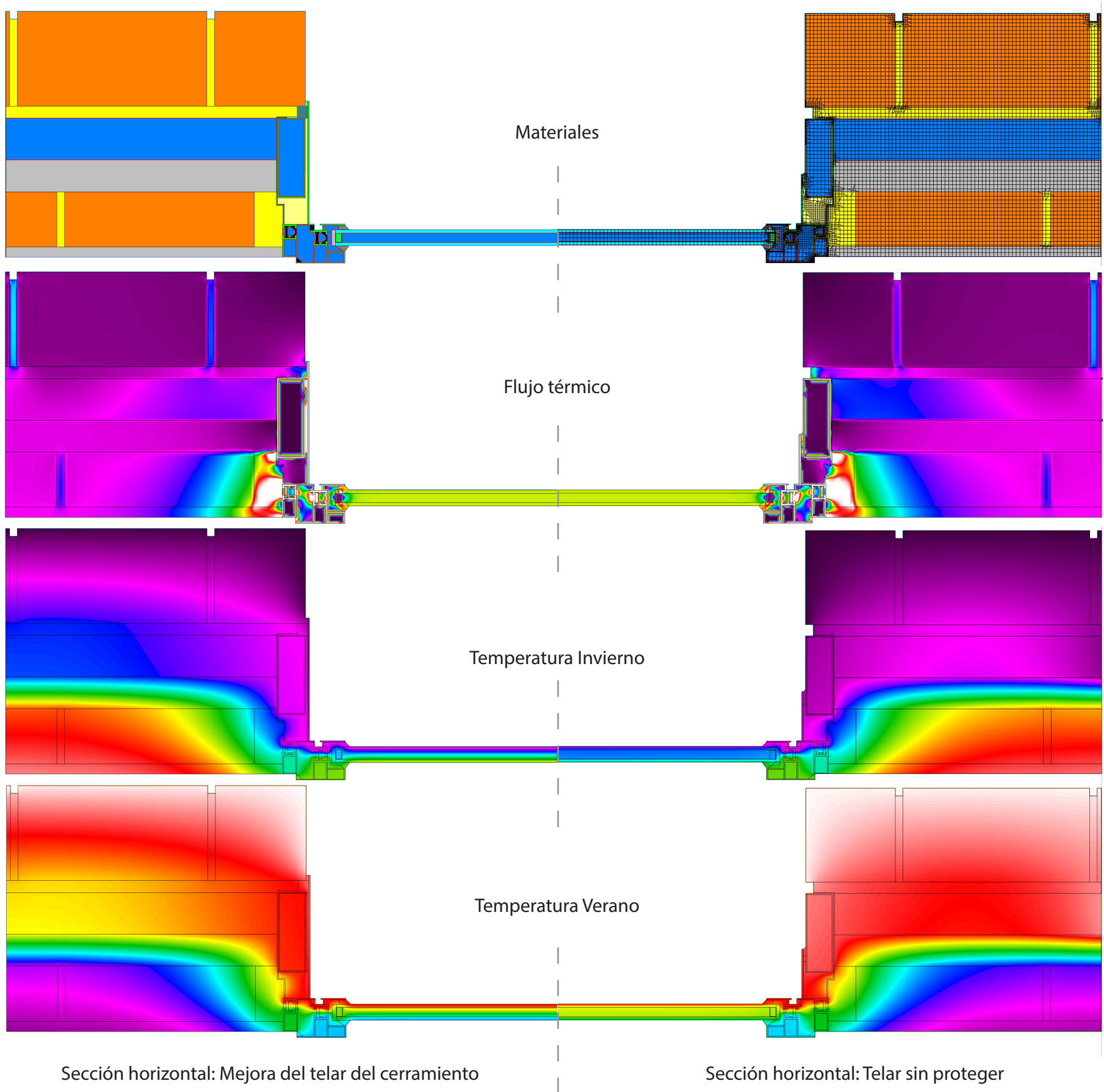
Escala Temperatura Verano (°C)



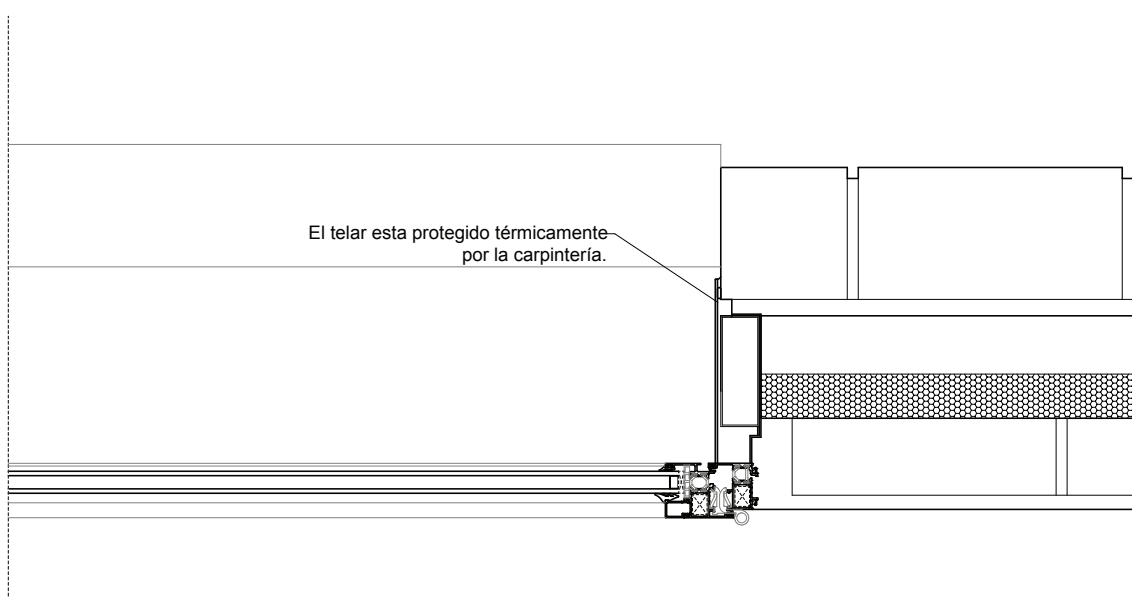
Temperatura Invierno

Temperatura Verano





SOL9



Sección 7h

0.0 7.5 15.0 22.5 30.0 37.5 45.0 52.5 60.0



Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

5.0° 7.0° 9.0° 11.0° 13.0° 15.0° 17.0° 19.0° 21.0°



Escala Temperatura Invierno (°C)

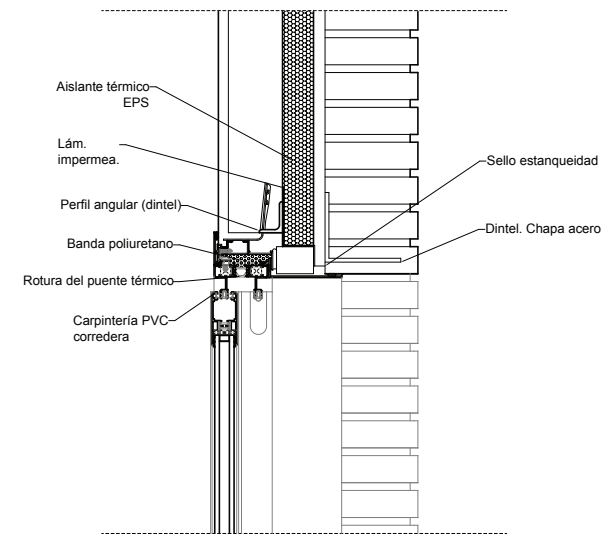
25.0° 25.6° 26.3° 26.9° 27.5° 28.1° 28.8° 29.4° 30.0°



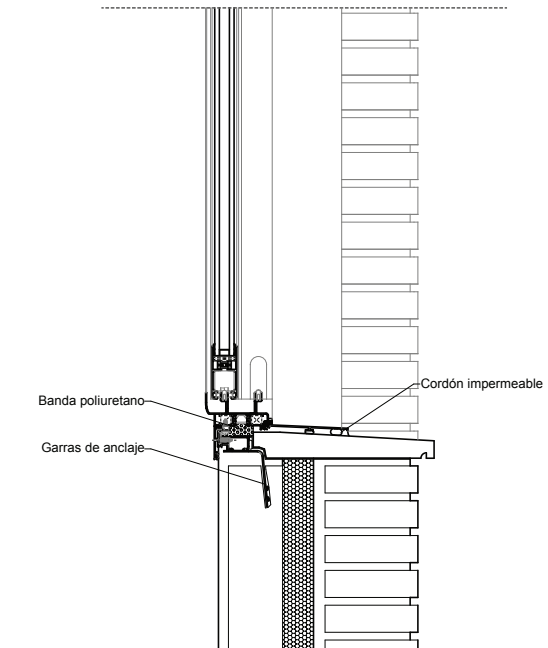
Escala Temperatura Verano (°C)

Ventana de aluminio con rotura del puente térmico y vidrio doble en cerramiento de fábrica de ladrillo de doble hoja con cámara no ventilada y aislamiento térmico. Se ha ampliado la superficie de carpintería que protege el telar en la sección horizontal.

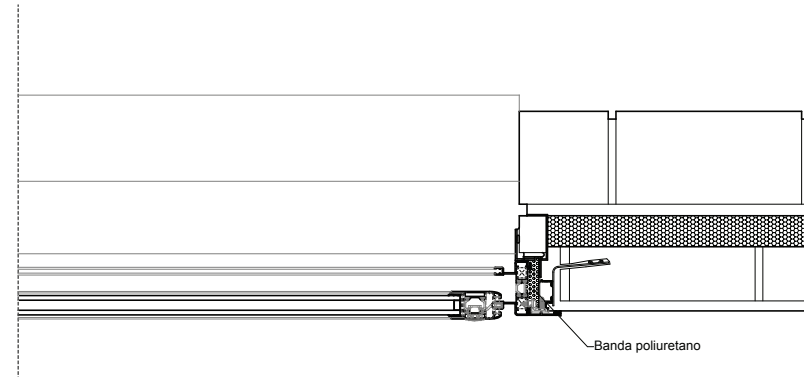
# SOL10



Sección 8v2



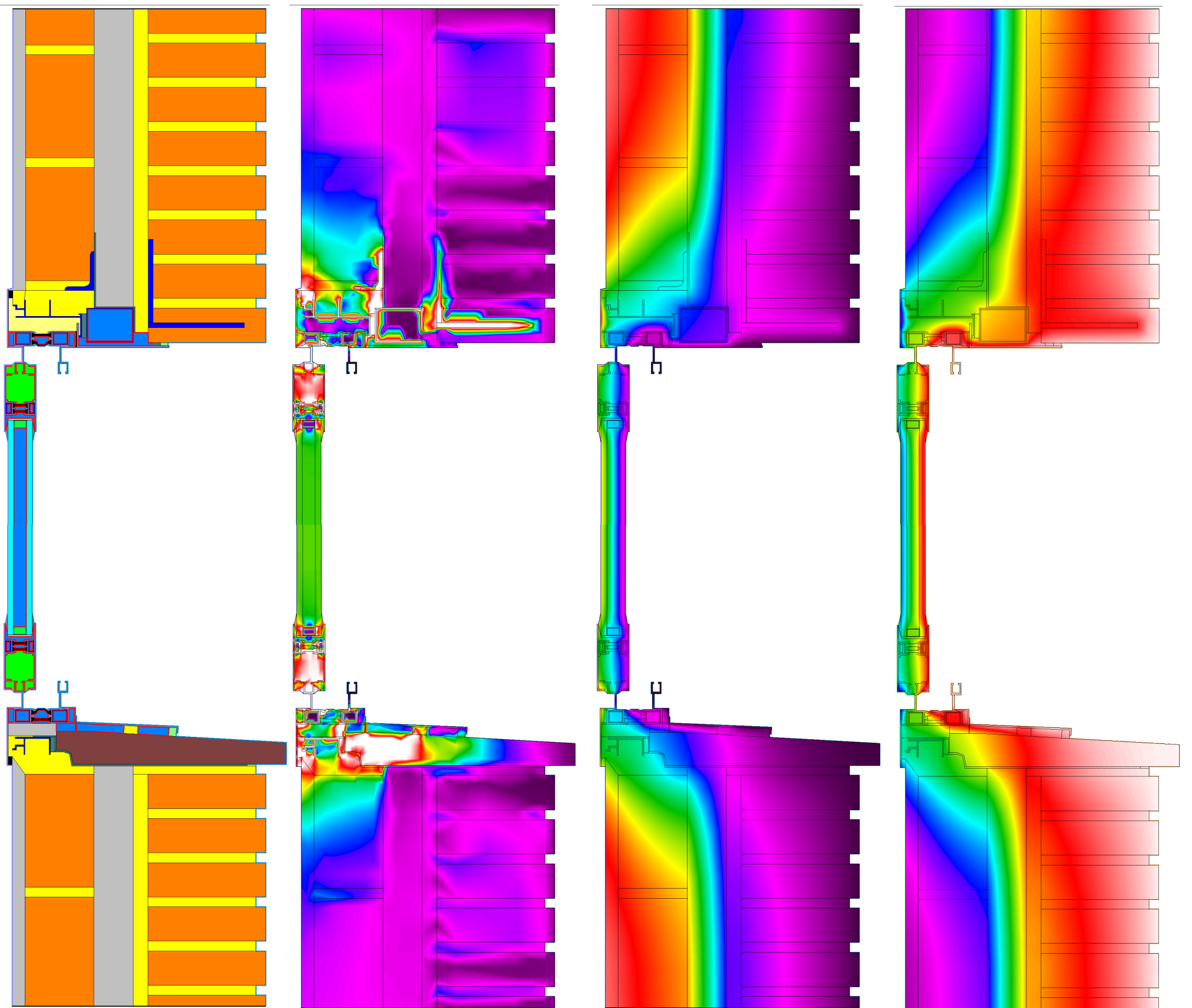
Sección 8v1



Sección 8h

Ventana corredera de PVC con rotura de puente térmico y vidrio doble en cerramiento de fábrica de ladrillo de doble hoja con aislante térmico.



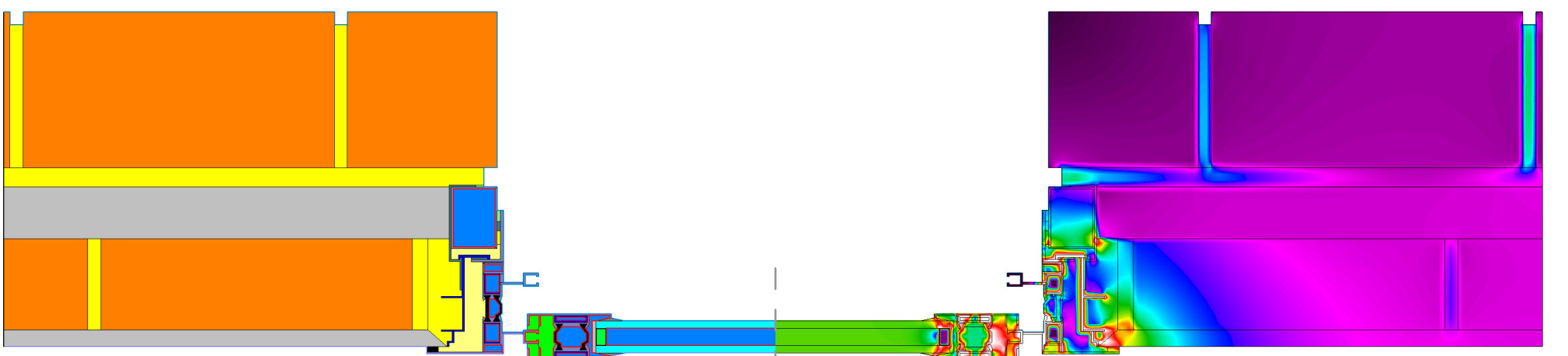


Materiales

Flujo térmico

Temperatura Invierno

Temperatura Verano



Materiales

Flujo térmico

0.0 7.5 15.0 22.5 30.0 37.5 45.0 52.5 60.0

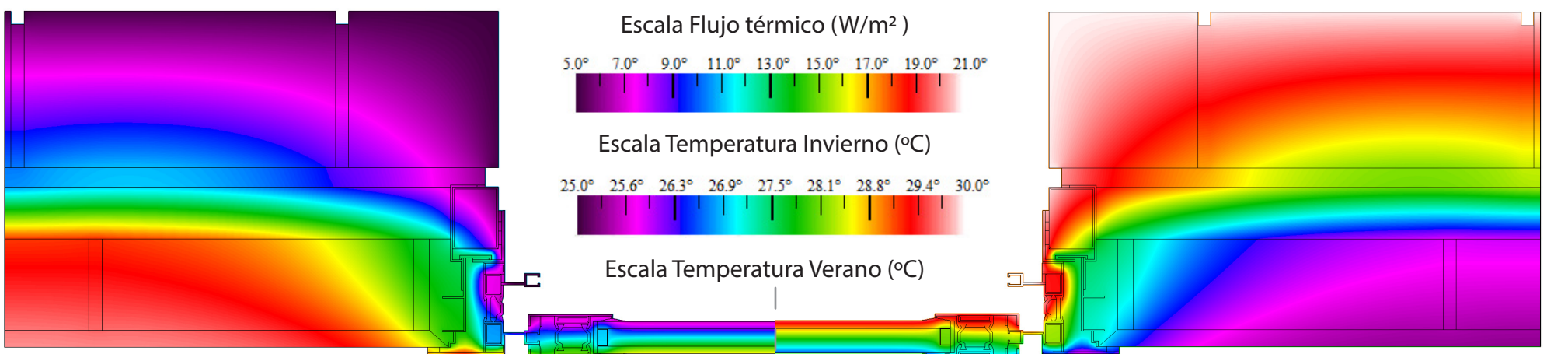
Escala Flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

5.0° 7.0° 9.0° 11.0° 13.0° 15.0° 17.0° 19.0° 21.0°

Escala Temperatura Invierno (°C)

25.0° 25.6° 26.3° 26.9° 27.5° 28.1° 28.8° 29.4° 30.0°

Escala Temperatura Verano (°C)

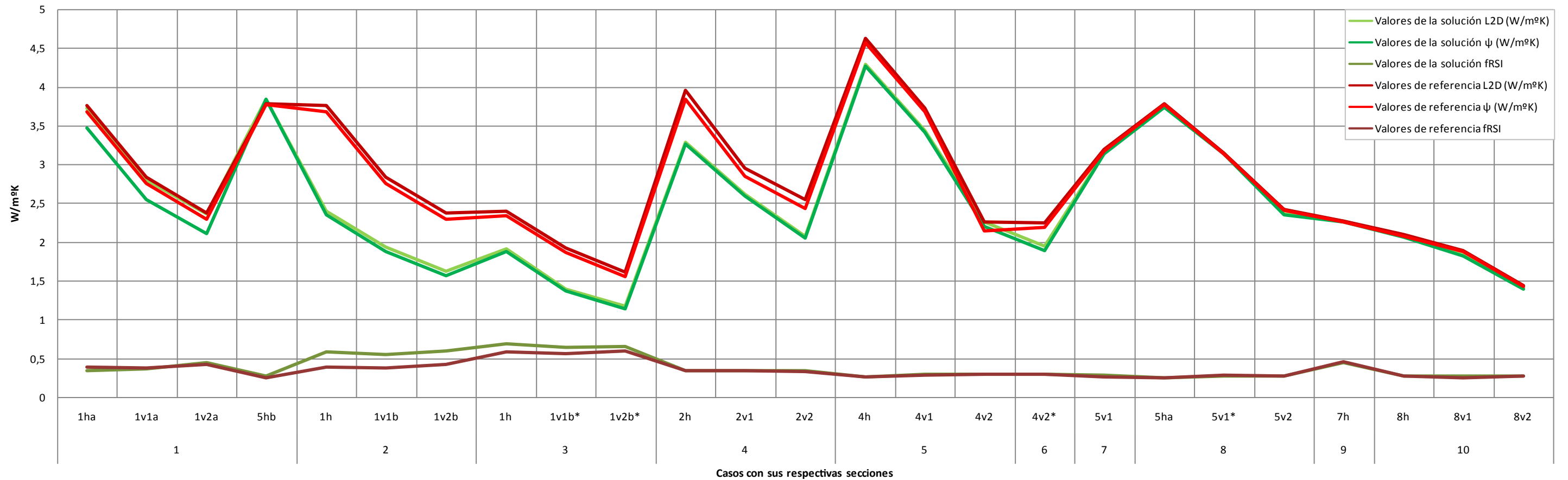


Temperatura Invierno

Temperatura Verano

### 9.3- Gráfica comparativa de los parámetros térmicos.

## Parámetros térmicos para cada caso y solución



Solución	Sección modificada	Se compara con	Diferencias			Descripción
			L2D (W/m²K)	ψ (W/m²K)	fRSI	
1	1ha	1hb	0,03502677	0,2169712	0,05	Hipótesis de edificio con fachada protegida. Carpintería con haces intermedias vs haces exteriores
	1v1a	1v1b	0,037748677	0,2139966	0	
	1v2a	1v2b	0,016907083	0,193155	-0,019	
	5hb	5ha	-0,060831028	-0,060831	-0,019	Cerramiento de doble hoja. Jamba con hoja aparejada (constructivamente incorrecta) vs independiente
2	1h	1hb	1,361850448	1,3382756	-0,188	Doblado del vidrio de la carpintería mediante la adición por el intradós de otra hoja de similares características clavada al marco de la hoja.
	1v1b	1v1b	0,906070141	0,887499	-0,181	
	1v2b	1v2b	0,756977447	0,7384063	-0,169	
3	1hb*	SOL2 1hb	0,484221152	0,4675233	-0,106	Solución anterior (2) + doblado de la hoja del cerramiento por el intradós formada por una nueva hoja de cartón-yeso y lana de roca como aislamiento térmico entre ellas.
	1v1b*	SOL2 1v1b	0,542954117	0,5005218	-0,081	
	1v2b*	SOL2 1v2b	0,445978154	0,4235832	-0,063	
4	2h	2h	0,668816305	0,589689	0	Adición de nueva hoja en el cerramiento por el trasdós formada por un revestimiento de piedra, una cámara ventilada y aislamiento térmico EPS.
	2v1	2v1	0,336193356	0,2563284	0	
	2v2	2v2	0,471903872	0,392039	-0,006	
5	4h	4h	0,329750128	0,3051799	0	Inyección de espuma de poliuretano en cámara no ventilada.
	4v1	4v1	0,291622479	0,2694876	-0,006	
	4v2	4v2	0,005746619	-0,0479172	0	
6	4v2*	SOL5 4v2	0,305724547	0,3057245	0	Solución anterior (5) + Adición de aislamiento térmico en caja de persiana (EPS)
7	5v1	5v1	0,038955705	0,0389557	-0,025	Sustitución de pieza vierteaguas de piedra por una de chapa de Al. rellena de espuma de poliuretano
8	5ha	5ha	0,042688026	0,042688	0	Solución anterior (7) + sustitución del mortero de agarre del premarco por mortero aligerado
	5v1*	SOL7 5v1	0,00667275	0,0066728	0,006	
	5v2	5v2	0,060046288	0,0600463	0	
9	7h	7h	0,001160614	0,0011606	0,006	Ampliación de la extensión del marco en la zona del telar exterior para aislar térmicamente la fachada
10	8h	8h	0,0192654	0,0192654	0	Adición de lámina de poliuretano entre el marco y premarco. (similar a Posaclima)
	8v1	8v1	0,06086	0,06086	-0,019	
	8v2	8v2	0,035903619	0,0359036	0,006	

Gráfica de los parámetros utilizados para la evaluación térmica. En la zona superior se muestran líneas de dos colores. El rojo indica los parámetros de los sujetos de referencia y el verde los de las soluciones adoptadas. Tanto los valores de L2D (transmisión térmica total en 2D) como los de ψ (transmitancia térmica lineal) están en W/m²K. Los valores de fRSI (factor de temperatura superficial) son adimensionales y se muestran en la zona inferior de la gráfica.

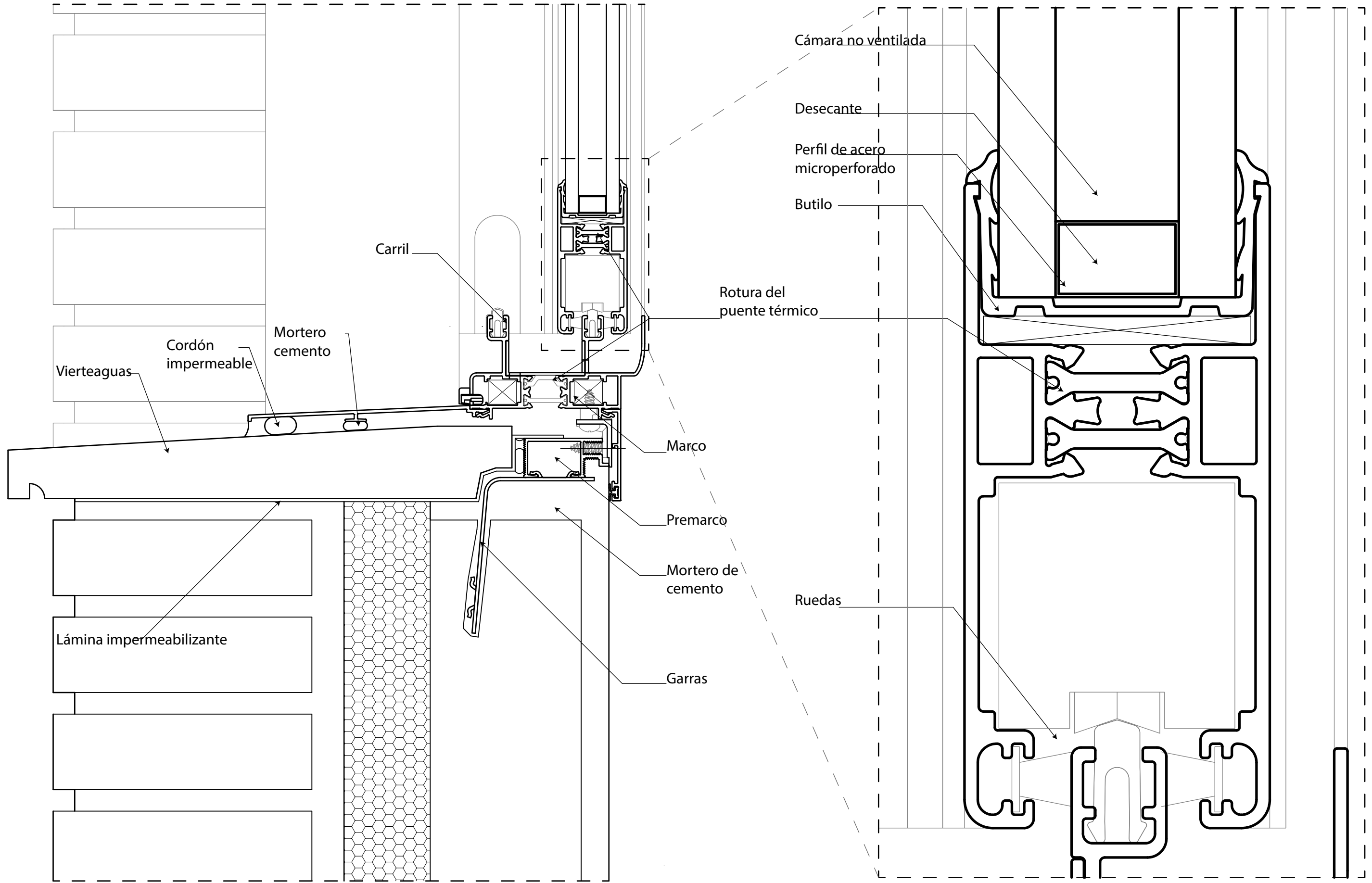
Cuanto menor es el valor de L2D y ψ, mejor es el comportamiento térmico de la sección. Al contrario, para fRSI cuanto menor es el valor, peor comportamiento térmico.

La mayor o menor eficacia de las medidas adoptadas para mejorar los sujetos de estudio se pueden apreciar observando la diferencia entre los valores de referencia y de la solución. Cuanto más se aleje la línea verde bajo la roja mejor será la solución térmica adoptada.



#### **9.4- Partes de una carpintería. Nomenclatura.**

# Detalle: Partes de una carpintería y sus anclajes



Sección vertical: Ventana corredera sobre cerramiento de dos hojas

Sección vertical: Detalle interior de la carpintería

### 9.5- Listado de materiales y sus características térmicas.

Material	Conductividad $\lambda$ (W/m <sup>2</sup> K)	Emisividad $\epsilon$
<b>Cerámicos</b>		
Ladrillo macizo	0,85	0,93
Ladrillo cara vista	0,35	0,93
Ladrillo hueco	0,32	0,93
<b>Aglomerantes</b>		
Mortero de cemento albañilería	0,7	0,7
Mortero de áridos ligeros	0,41	0,9
Mortero de yeso	0,4	0,9
Hormigón en masa	1,65	0,5
<b>Metales</b>		
Acero	50	0,4
Hierro galvanizado	70	0,075
Aluminio anodizado	160	0,4
<b>Bituminosos - Poliméricos</b>		
Neopreno (juntas)	0,23	0,9
Goma de Butilo	0,24	0,9
Lámina impermeabilizante	0,23	0,9
Silicona (sellante)	0,35	0,9
Vinilo flexible (vidrios)	0,12	0,9
PVC	0,17	0,9
<b>Aislantes</b>		
Lana de roca	0,04	0,9
Espuma poliuretano	0,04	0,9
EPS	0,039	0,9
<b>Varios</b>		
Madera (de pino)	0,15	0,9
Vidrio	0,1	0,95
Piedra artificial (vierteaguas)	1,3	0,8
Desecante	0,13	0,9
Placa de yeso laminado	0,25	0,9

**9.6- Datos estadísticos sobre vivienda utilizados.**

Edificios destinados principalmente a viviendas, según año de construcción (agregado) por estado										
	TOTAL	Antes de 1900	1900-1920	1921-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2001
TOTAL	8623875	901299	426872	497039	539425	886544	1090319	1504984	1360191	1417202
	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Ruinoso	94794	35099	12679	10566	8723	9008	6676	7245	4026	772
	1,10%	3,89%	2,97%	2,13%	1,62%	1,02%	0,61%	0,48%	0,30%	0,05%
Malo	173981	55012	24722	22063	19621	19372	13912	9697	3154	6428
	2,02%	6,10%	5,79%	4,44%	3,64%	2,19%	1,28%	0,64%	0,23%	0,45%
Deficiente	681636	157943	77188	78438	77141	98115	79627	60613	21756	30815
	7,90%	17,52%	18,08%	15,78%	14,30%	11,07%	7,30%	4,03%	1,60%	2,17%
Bueno	7673464	653245	312283	385972	433940	760049	990104	1427429	1331255	1379187
	88,98%	72,48%	73,16%	77,65%	80,44%	85,73%	90,81%	94,85%	97,87%	97,32%



AÑO	EDIFICIOS DE NUEVA PLANTA						EDIFICIOS A REHABILITAR	EDIFICIOS A DEMOLER
	TOTAL	EDIFICIOS RESIDENCIALES				EDIFICIOS RESIDENCIALES		
		TOTAL	VIVIENDA FAMILIAR	RESIDENCIAL COLECTIVA PERMANENTE	RESIDENCIAL COLECTIVA EVENTUAL			
2000	158.008	142.035	141.287	151	597	15.973	25.727	11.838
2001	144.576	128.874	128.178	220	476	15.702	25.818	11.799
2002	145.048	129.279	128.819	166	294	15.769	27.336	12.718
2003	167.138	150.064	149.456	201	407	17.074	28.392	14.420
2004	184.278	166.180	165.584	247	349	18.098	32.229	18.165
2005	203.377	184.218	183.566	190	462	19.159	33.086	20.997
2006	230.044	208.631	208.016	306	309	21.413	35.856	28.480
2007	187.147	166.322	165.833	197	292	20.825	33.359	26.141
2008	93.678	79.752	79.467	126	159	13.926	34.807	14.573
2009	51.744	39.564	39.349	102	113	12.180	33.267	7.984
2010	44.781	35.110	34.317	183	610	9.671	31.910	8.084
2011	38.973	30.194	30.052	46	96	8.779	30.237	7.295
2012	28.956	21.038	20.923	29	86	7.918	29.154	6.941
2013	24.052	16.267	16.012	55	200	7.785	25.227	5.725



**9.7- 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)
1	1h	Exterior Total		1260,8	2,98634	60242,8396			
		Exterior X=		1027,77	3,66345	60242,9441		3,76518401	1,75499984
		Exterior Y=		239,947	15,6918	60243,2054		3,76520033	3,29589528
		Interior Total		1087,86	3,46108	60242,7278			
		Interior X=		1027,77	3,66344	60242,7797		3,76517373	1,75498956
		Interior Y=		38,0382	98,9843	60242,9536	60,24297068	3,7651846	3,69078684
	1v1b	Exterior Total		1170,78	2,42562	45437,8781			
		Exterior X=		827,919	3,43012	45437,7843		2,83986152	1,22055986
		Exterior Y=		270,442	10,5008	45437,7177		2,83985735	2,31090805
		Interior Total		890,861	3,18779	45438,0446			
		Interior X=		827,919	3,43014	45438,0493		2,83987808	1,22057642
		Interior Y=		38,3927	73,9692	45438,0369	45,43789703	2,8398773	2,76478619
	1v2b	Exterior Total		901,088	2,64047	38068,7333			
		Exterior X=		665,998	3,57253	38068,7654		2,37929783	1,07669255
		Exterior Y=		242,505	9,81133	38068,7453		2,37929658	1,90498841
		Interior Total		729,418	3,26191	38068,7339			
		Interior X=		665,998	3,57252	38068,6588		2,37929117	1,07668589
		Interior Y=		38,3927	61,9725	38068,6656	38,06870877	2,3792916	2,30420048
2	2h	Exterior Total		1135,71	3,48213	63275,0378			
		Exterior X=		1027,77	3,84781	63274,6189		3,95466368	1,13284607
		Exterior Y=		114,947	34,4045	63275,105		3,95469406	3,63909868
		Interior Total		1087,87	3,63525	63274,8707			
		Interior X=		1027,77	3,8478	63274,4545		3,95465341	1,13283579
		Interior Y=		38,0381	103,966	63274,7057	63,27472102	3,9546691	3,85023272
	2v1	Exterior Total		1018,08	2,90635	47342,3489			
		Exterior X=		827,919	3,5739	47342,3954		2,95889971	0,68578762
		Exterior Y=		130,122	22,7395	47342,5475		2,95890922	2,60164976
		Interior Total		890,861	3,32148	47343,6319			
		Interior X=		827,919	3,574	47343,7201		2,95898251	0,68587041
		Interior Y=		38,3927	77,0714	47343,6662	47,34308231	2,95897914	2,85356918
2v2	Exterior Total		776,023	3,28388	40773,8625				
	Exterior X=		665,938	3,82673	40773,8388		2,54836492	0,7199835	
	Exterior Y=		117,505	21,6873	40773,859		2,54836619	2,22574763	
	Interior Total		729,358	3,49405	40774,6131				

		Interior X=	665,938	3,82681	40774,6912		2,5484182	0,72003677
		Interior Y=	38,3927	66,3776	40774,6445	40,77425836	2,54841528	2,44300532
3	3h	Exterior Total	1112,04	4,13887	73641,4239			
		Exterior X=	1027,77	4,47821	73641,1183		4,60256989	1,78075228
		Exterior Y=	83,2378	55,2944	73641,3473		4,60258421	4,37404875
		Interior Total	1096,88	4,19603	73640,6622			
		Interior X=	1027,77	4,47817	73640,4605		4,60252878	1,78071117
		Interior Y=	58,7645	78,3217	73640,5686	73,64087368	4,60253554	4,44119331
	3v1	Exterior Total	1021,27	4,21482	68871,5075			
		Exterior X=	827,919	5,19914	68871,4686		4,30446679	2,03135469
		Exterior Y=	89,9058	47,8775	68871,439		4,30446494	4,057622
		Interior Total	1033,56	4,16472	68871,8081			
		Interior X=	827,919	5,19918	68871,9985		4,30449991	2,03138781
		Interior Y=	81,6267	52,734	68872,0384	68,87173613	4,3045024	4,08039033
	3v2	Exterior Total	751,129	4,12849	49616,457			
		Exterior X=	665,998	4,65621	49616,4248		3,10102655	1,27248039
		Exterior Y=	83,1724	37,2844	49616,5285		3,10103303	2,87267713
		Interior Total	734,234	4,22351	49616,7143			
		Interior X=	665,998	4,65624	49616,7444		3,10104653	1,27250037
		Interior Y=	58,8276	52,7141	49616,7038	49,61660038	3,10104399	2,93952852
4	4h	Exterior Total	1303,34	3,54695	73966,109			
		Exterior X=	1027,77	4,49796	73965,8936		4,62286835	3,62138723
		Exterior Y=	184,13	25,1066	73966,0521		4,62287826	4,44345804
		Interior Total	1155,13	4,00212	73967,502			
		Interior X=	1027,77	4,49802	73966,8802		4,62293002	3,62144889
		Interior Y=	50,3082	91,8924	73967,0598	73,96647144	4,62294124	4,57391985
	4v1	Exterior Total	1141,92	3,26497	59653,3527			
		Exterior X=	827,919	4,50324	59653,0873		3,72831796	2,92157594
		Exterior Y=	199,541	18,6845	59653,181		3,72832381	3,53388679
		Interior Total	931,294	4,00336	59652,8824			
		Interior X=	827,919	4,50322	59652,8224		3,7283014	2,92155938
		Interior Y=	45,3217	82,2632	59652,9291	59,65300497	3,72830807	3,68414564
	4v2	Exterior Total	886,881	2,68851	38150,215			
		Exterior X=	577,181	4,13109	38150,1865		2,38438666	1,82196912
		Exterior Y=	147,151	16,2037	38150,2505		2,38439066	2,24100357
		Interior Total	903,657	3,45963	50021,1019			
		Interior X=	577,631	5,55312	51322,4681		3,20765426	2,64479823
		Interior Y=	109,878	20,5849	36189,2423	40,95303687	2,26182764	2,15476016
5	5ha	Exterior Total	1427,56	2,65255	60586,7884			
		Exterior X=	1027,77	3,68434	60586,4659		3,78665412	3,32238761

6		Exterior Y=	261,79	14,4645	60586,5833		3,78666146	3,6684051	
		Interior Total	1140,24	3,32093	60586,5156				
		Interior X=	1027,79	3,68428	60586,6583		3,78666614	3,32239059	
		Interior Y=	23,6237	160,291	60586,6639	60,58659286	3,7866665	3,77599515	
	5v1	Exterior Total	1325,62	2,40858	51085,7891				
		Exterior X=	827,919	3,8565	51085,914		3,19286962	2,81888024	
		Exterior Y=	284,381	11,2274	51085,7478		3,19285924	3,06439803	
		Interior Total	944,923	3,37897	51085,8635				
		Interior X=	827,919	3,85649	51085,7815		3,19286134	2,81887196	
		Interior Y=	23,4956	135,892	51085,8252	51,08581713	3,19286408	3,18225059	
	5v2	Exterior Total	1136,2	2,13778	38863,1302				
		Exterior X=	675,625	3,59512	38863,2472		2,42895295	2,12375814	
		Exterior Y=	267,569	9,07787	38863,3056		2,4289566	2,30808974	
		Interior Total	764,457	3,17728	38862,303				
		Interior X=	675,625	3,59503	38862,2743		2,42889214	2,12369734	
		Interior Y=	23,6589	102,663	38862,2984	38,86278137	2,42889365	2,4182064	
	6	6h	Exterior Total	1364,93	1,94768	42535,1498			
			Exterior X=	1027,77	2,58661	42535,0426		2,65844016	2,19417364
			Exterior Y=	272,32	9,7622	42535,0769		2,6584423	2,53542932
			Interior Total	1072,8	2,47807	42535,5759			
			Interior X=	1027,79	2,5866	42535,7058		2,65848161	2,19420606
			Interior Y=	17,8906	148,596	42535,5456	42,5353427	2,6584716	2,65039002
		6v1	Exterior Total	1246,53	1,40002	27922,6709			
			Exterior X=	827,919	2,10789	27922,5949		1,74516218	1,3711728
Exterior Y=			279,908	6,23477	27922,592		1,745162	1,61872135	
Interior Total			872,882	1,99931	27922,5874				
Interior X=			827,919	2,10789	27922,5949		1,74516218	1,3711728	
Interior Y=			17,8906	97,5463	27922,5894	27,92259279	1,74516183	1,73708025	
6v2	Exterior Total	1083,8	1,24871	21653,6304					
	Exterior X=	675,625	2,00311	21653,6191		1,35335119	1,04815639		
	Exterior Y=	263,259	5,14076	21653,6214		1,35335134	1,2344314		
	Interior Total	718,834	1,88273	21653,9254					
	Interior X=	675,625	2,00314	21653,9434		1,35337146	1,04817666		
	Interior Y=	17,8906	75,647	21653,9235	21,65377685	1,35337022	1,34528864		
7	7h	Exterior Total	1444,71	1,57363	36375,024				
		Exterior X=	1027,77	2,21201	36375,0003		2,27343752	1,8079917	
		Exterior Y=	288,658	7,87592	36375,157		2,27344732	2,14272287	
		Interior Total	1054,09	2,15678	36375,0437				
		Interior X=	1027,77	2,21202	36375,1647		2,2734478	1,80800198	
		Interior Y=	22,3195	101,859	36375,0712	36,37509832	2,27344195	2,26333413	

	7v1	Exterior Total	1348,13	1,3743	29643,7609		
		Exterior X=	827,919	2,23783	29643,8716	1,85274198	1,47780261
		Exterior Y=	311,405	5,94963	29643,9125	1,85274453	1,71171866
		Interior Total	854,214	2,16895	29643,9593		
		Interior X=	827,919	2,23784	29644,0041	1,85275025	1,47781089
		Interior Y=	22,3196	83,01	29643,9999	29,64394703	1,85275
	7v2	Exterior Total	1147,84	1,30789	24019,9753		
		Exterior X=	667,797	2,24806	24019,9636	1,50124772	1,19882275
		Exterior Y=	278,562	5,38928	24019,9778	1,50124862	1,37509635
		Interior Total	694,118	2,16279	24019,7035		
		Interior X=	667,797	2,24803	24019,643	1,50122769	1,19880271
		Interior Y=	22,3195	67,261	24019,7102	24,01982367	1,50123189
8	8h	Exterior Total	1469,18	1,42744	33554,6608		
		Exterior X=	1027,77	2,0405	33554,635	2,09716469	1,54590157
		Exterior Y=	259,351	8,08621	33554,6664	2,09716665	1,95805903
		Interior Total	1067,84	1,96395	33554,9499		
		Interior X=	1027,77	2,04051	33554,7994	2,09717496	1,54591185
		Interior Y=	19,8	105,918	33554,8224	33,55473079	2,0971764
	8v1	Exterior Total	1354,91	1,40028	30356,054		
		Exterior X=	827,919	2,29159	30356,0144	1,8972509	1,4531815
		Exterior Y=	277,553	6,83564	30356,0382	1,89725239	1,74838179
		Interior Total	866,094	2,19056	30355,694		
		Interior X=	827,919	2,29157	30355,7495	1,89723434	1,45316495
		Interior Y=	17,9	105,991	30355,8224	30,35590613	1,8972389
	8v2	Exterior Total	1181,48	1,22422	23142,2631		
		Exterior X=	668,253	2,16443	23142,1895	1,44638684	1,0879572
		Exterior Y=	256,851	5,63121	23142,1107	1,44638192	1,30861522
		Interior Total	705,705	2,04956	23142,1558		
		Interior X=	668,253	2,16443	23142,1895	1,44638684	1,0879572
		Interior Y=	17,8999	80,804	23142,1363	23,14215648	1,44638352

SOLUCIONES									
Nº	Seccion	Tipo	Eje	Longitud	U-factor	HF (mW)	Transmisión térmica total (L2D) (W)	L2D	$\psi$ (W/m²K)
1: Variaciones constructivas	1ha	Exterior	Total	1156,69	3,22489	59683,1682			
		Exterior	X=	1027,77	3,62938	59682,6861		3,73016788	1,71998372
		Exterior	Y=	135,937	27,4406	59683,0855		3,73019284	3,46431779
		Interior	Total	1171,87	3,18308	59682,4954			
		Interior	X=	1027,77	3,62937	59682,5217		3,7301576	1,71997344
		Interior	Y=	131,063	28,4608	59682,5253	59,68270464	3,73015783	3,47381568
	1v1a	Exterior	Total	1068,74	2,6219	44834,0705			
		Exterior	X=	827,919	3,38454	44833,9996		2,80212497	1,18282332
		Exterior	Y=	166,432	16,8364	44833,8516		2,80211572	2,47659642
		Interior	Total	974,871	2,87436	44834,0833			
		Interior	X=	827,919	3,38454	44833,9996		2,80212497	1,18282332
		Interior	Y=	128,505	21,8056	44834,058	44,83397719	2,80212863	2,5507896
	1v2a	Exterior	Total	797,086	2,96381	37798,5833			
		Exterior	X=	665,998	3,54718	37798,6366		2,36241479	1,0598095
		Exterior	Y=	138,495	17,0577	37798,4986		2,36240616	2,09152799
		Interior	Total	813,428	2,90423	37798,112			
		Interior	X=	665,998	3,54713	37798,1038		2,36238149	1,0597762
		Interior	Y=	128,505	18,3836	37798,1523	37,7983478	2,36238452	2,11104549
	5hb	Exterior	Total	1435,96	2,6794	61560,1796			
		Exterior	X=	1027,77	3,74353	61559,8052		3,84748783	3,38322131
		Exterior	Y=	267,79	14,3676	61559,9937		3,8474996	3,72653292
		Interior	Total	1142,72	3,36695	61559,6977			
		Interior	X=	1027,79	3,74346	61559,8521		3,84749075	3,3832152
		Interior	Y=	23,6237	162,866	61559,9604	61,55990284	3,84749752	3,83682617
2: Doblar vidrio	1h	Exterior	Total	1260,8	1,90624	38454,1983			
		Exterior	X=	1027,77	2,33845	38454,2201		2,40338876	0,39320459
		Exterior	Y=	239,947	10,0164	38454,4821		2,40340513	1,93410007
		Interior	Total	1079,76	2,22581	38453,4497			
		Interior	X=	1027,77	2,33839	38453,2334		2,40332709	0,39314293
		Interior	Y=	25,9848	92,49	38453,3464	38,45382052	2,40333415	2,35251127
	1v1b	Exterior	Total	1170,78	1,65173	30940,9992			
		Exterior	X=	827,919	2,33574	30940,8564		1,93380353	0,31450187
		Exterior	Y=	270,442	7,15053	30940,8581		1,93380363	1,40485433
		Interior	Total	881,051	2,19489	30940,9605			
		Interior	X=	827,919	2,33574	30940,8564		1,93380353	0,31450187
		Interior	Y=	28,8976	66,9193	30940,9146	30,94087139	1,93380716	1,87728722

	1v2b	Exterior Total	901,088	1,80037	25956,6688			
		Exterior X=	665,998	2,43588	25956,6593		1,62229121	0,31968592
		Exterior Y=	242,505	6,68972	25956,6488		1,62229055	1,14798238
		Interior Total	719,609	2,25444	25957,045			
		Interior X=	665,998	2,43591	25956,979		1,62231119	0,3197059
		Interior Y=	28,8976	56,1401	25957,0265	25,9568284	1,62231415	1,56579421
3: Adición de hoja intradós+doble vidrio	1h*	Exterior Total	1260,8	1,52215	30706,0275			
		Exterior X=	1027,77	1,86727	30705,9854		1,91912409	1,41808608
		Exterior Y=	239,947	7,99815	30706,1136		1,9191321	1,8021579
		Interior Total	1129,76	1,69869	30705,7922			
		Interior X=	1027,77	1,86725	30705,6565		1,91910353	1,41806553
		Interior Y=	70	27,4159	30705,808	30,70589087	1,919113	1,88498799
	1v1b*	Exterior Total	1170,78	1,2372	23175,8243			
		Exterior X=	827,919	1,74956	23175,9035		1,44849397	1,04488335
		Exterior Y=	270,442	5,35602	23175,8842		1,44849276	1,31665225
		Interior Total	861,051	1,61529	22253,5531			
		Interior X=	827,919	1,67994	22253,6679		1,39085424	0,98724363
		Interior Y=	28,8976	48,1304	22253,6488	22,71477607	1,39085305	1,37676546
	1v2b*	Exterior Total	901,088	1,30553	18822,3587			
		Exterior X=	665,998	1,76637	18822,3822		1,17639889	0,85172478
		Exterior Y=	242,505	4,85103	18822,3845		1,17639903	1,05817781
		Interior Total	769,609	1,52848	18821,3114			
		Interior X=	665,998	1,76627	18821,3166		1,17633229	0,85165818
		Interior Y=	70	16,8048	18821,376	18,82186482	1,176336	1,14221099
4: Adición hoja trasdós	2h	Exterior Total	1255,71	2,61672	52573,4635			
		Exterior X=	1027,77	3,19704	52573,1488		3,2858218	2,60198242
		Exterior Y=	234,947	13,9854	52573,2444		3,28582777	3,1295029
		Interior Total	1087,87	3,02046	52573,8851			
		Interior X=	1027,77	3,19707	52573,6421		3,28585263	2,60201325
		Interior Y=	38,0381	86,3832	52573,6448	52,57342003	3,2858528	3,26054368
	2v1	Exterior Total	1121,63	2,33838	41964,7546			
		Exterior X=	827,919	3,16793	41964,631		2,62278944	2,07192337
		Exterior Y=	249,64	10,5063	41964,6837		2,62279273	2,45669169
		Interior Total	890,861	2,9441	41964,5419			
		Interior X=	827,919	3,16793	41964,631		2,62278944	2,07192337
		Interior Y=	38,3927	68,3147	41964,5725	41,96462956	2,62278578	2,59724073
	2v2	Exterior Total	896,023	2,31749	33224,3895			
		Exterior X=	665,938	3,11819	33224,3394		2,07652121	1,63343119
		Exterior Y=	237,505	8,74308	33224,4034		2,07652522	1,91849835
		Interior Total	729,358	2,84704	33224,1824			



		Interior X=	665,938	3,11818	33224,2328		2,07651455	1,63342453
		Interior Y=	38,3927	54,0861	33224,1826	33,22428957	2,07651141	2,05096636
5: Inyección espuma poliuretano en cámara	4h	Exterior Total	1303,34	3,29403	68691,857			
		Exterior X=	1027,77	4,17722	68691,5424		4,2932214	3,79369771
		Exterior Y=	184,13	23,3163	68691,6851		4,29323032	4,20373822
		Interior Total	1155,13	3,71665	68691,4226			
		Interior X=	1027,77	4,17718	68690,8846		4,29318029	3,79365659
		Interior Y=	50,3082	85,3378	68691,0578	68,69129247	4,29319111	4,26873998
	4v1	Exterior Total	1141,92	3,00953	54986,28			
		Exterior X=	827,919	4,15093	54986,141		3,43663381	3,03424305
		Exterior Y=	199,541	17,2227	54986,1565		3,43663478	3,33965252
		Interior Total	931,294	3,69022	54986,8759			
		Interior X=	827,919	4,15099	54986,9358		3,43668349	3,03429272
		Interior Y=	45,3217	75,8287	54986,9695	54,98655071	3,43668559	3,41465804
	4v2	Exterior Total	886,881	2,58781	36721,2723			
		Exterior X=	577,181	3,97637	36721,3634		2,29508521	2,01455982
		Exterior Y=	147,151	15,5968	36721,3555		2,29508472	2,2235654
		Interior Total	653,778	3,45083	36097,2278			
		Interior X=	407,309	5,539	36097,3528		2,25608455	2,05812149
		Interior Y=	109,878	20,5326	36097,2964	36,40934201	2,25608102	2,20267738
6: EPS caja persiana	4v2*	Exterior Total	896,554	2,36403	33911,6888			
		Exterior X=	577,311	3,6713	33911,71		2,11948187	1,8388933
		Exterior Y=	156,642	13,5307	33911,6146		2,11947591	2,04334371
		Interior Total	653,778	2,98322	31205,8177			
		Interior X=	407,309	4,78841	31205,7998		1,95036249	1,75239943
		Interior Y=	109,878	17,7502	31205,7036	32,55870699	1,95035648	1,89695283
7: Mejora vierreaguas	5v1	Exterior Total	1325,62	2,37922	50463,0659			
		Exterior X=	827,919	3,80949	50463,1864		3,15394915	2,77995977
		Exterior Y=	284,381	11,0906	50463,2947		3,15395592	3,02549471
		Interior Total	944,923	3,33774	50462,5167			
		Interior X=	827,919	3,80944	50462,5241		3,15390776	2,77991837
		Interior Y=	23,4956	134,234	50462,5339	50,46288478	3,15390837	3,14329489
8: Mejora vierreaguas+mortero	5ha	Exterior Total	1427,56	2,62262	59903,1585			
		Exterior X=	1027,77	3,64278	59903,04		3,74394	3,27967348
		Exterior Y=	261,79	14,3013	59902,9972		3,74393733	3,62568097
		Interior Total	1140,24	3,28348	59903,2838			
		Interior X=	1027,79	3,64273	59903,3835		3,74396147	3,27968592
		Interior Y=	23,6237	158,484	59903,6555	59,90326906	3,74397847	3,73330712
	5v1*	Exterior Total	1325,62	2,37415	50355,5316			
	Exterior X=	827,919	3,80138	50355,7557		3,14723473	2,77324534	

9: Alargar pieza jambas	5v2	Exterior Y=	284,381	11,067	50355,9124		3,14724453	3,01878332
		Interior Total	944,923	3,33067	50355,627			
		Interior X=	827,919	3,80137	50355,6232		3,14722645	2,77323706
		Interior Y=	23,4956	133,95	50355,7699	50,3557653	3,14723562	3,13662214
	7h	Exterior Total	1136,53	2,0843	37901,9117			
		Exterior X=	675,625	3,50619	37901,9139		2,36886962	2,06367481
		Exterior Y=	267,569	8,8533	37901,898		2,36886863	2,24800177
		Interior Total	764,457	3,09875	37901,7781			
		Interior X=	675,625	3,50618	37901,8058		2,36886286	2,06366806
		Interior Y=	23,6589	100,125	37901,5578	37,90179389	2,36884736	2,35816011
	8h	Exterior Total	1426,33	1,59313	36357,2658			
		Exterior X=	1027,77	2,21091	36356,9115		2,27230697	1,80686116
Exterior Y=		288,658	7,87201	36357,0986		2,27231866	2,14159422	
Interior Total		1054,09	2,15568	36356,4917				
Interior X=		1027,77	2,21089	36356,5826		2,27228642	1,8068406	
Interior Y=		22,3195	101,807	36356,5014	36,35677354	2,27228134	2,26217351	
10: Poliuretano entre marco y premarco	8v1	Exterior Total	1469,18	1,41433	33246,4856			
		Exterior X=	1027,77	2,02176	33246,4684		2,07790428	1,52664116
		Exterior Y=	259,351	8,01193	33246,4329		2,07790206	1,93879444
		Interior Total	1067,84	1,9459	33246,5577			
		Interior X=	1027,77	2,02176	33246,4684		2,07790428	1,52664116
		Interior Y=	19,8	104,945	33246,576	33,24648643	2,077911	2,06729091
	8v2	Exterior Total	1354,91	1,35537	29382,4699			
		Exterior X=	827,919	2,2181	29382,5141		1,83640713	1,39233774
		Exterior Y=	277,553	6,61641	29382,4711		1,83640444	1,68753385
		Interior Total	866,094	2,12031	29382,2043			
		Interior X=	827,919	2,21807	29382,1167		1,8363823	1,3923129
		Interior Y=	17,9	102,591	29382,0624	29,3822911	1,8363789	1,82677791
	8v2	Exterior Total	1181,48	1,19382	22567,5913			
		Exterior X=	668,253	2,1107	22567,7057		1,41048161	1,05205197
		Exterior Y=	256,851	5,49142	22567,6275		1,41047672	1,27271002
		Interior Total	705,705	1,99868	22567,6555			
		Interior X=	668,253	2,1107	22567,7057		1,41048161	1,05205197
		Interior Y=	17,8999	78,7982	22567,6784	22,56767933	1,4104799	1,40087896



**9.8- Tabla: Cálculo del factor de temperatura superficial.**

CASOS					
Nº	Seccion	Te (°C)	Ti (°C)	Tsi (°C)	fRSI
1	1h	5	21	11,4	0,4
	1v1b	5	21	11,1	0,38125
	1v2b	5	21	11,9	0,43125
2	2h	5	21	10,6	0,35
	2v1	5	21	10,6	0,35
	2v2	5	21	10,5	0,34375
3	3h	5	21	10,9	0,36875
	3v1	5	21	9,9	0,30625
	3v2	5	21	10,6	0,35
4	4h	5	21	9,3	0,26875
	4v1	5	21	9,8	0,3
	4v2	5	21	9,9	0,30625
5	5ha	5	21	9,2	0,2625
	5v1	5	21	9,3	0,26875
	5v2	5	21	9,5	0,28125
6	6h	5	21	13,2	0,5125
	6v1	5	21	12,9	0,49375
	6v2	5	21	13	0,5
7	7h	5	21	12,4	0,4625
	7v1	5	21	13,3	0,51875
	7v2	5	21	12	0,4375
8	8h	5	21	9,5	0,28125
	8v1	5	21	9,2	0,2625
	8v2	5	21	9,6	0,2875

SOLUCIONES					
Nº Solución	Seccion	Te (°C)	Ti (°C)	Tsi (°C)	fRSI
1	1ha	5	21	10,6	0,35
	1v1a	5	21	11,1	0,38125
	1v2a	5	21	12,2	0,45
	5hb	5	21	9,5	0,28125
2	1h	5	21	14,4	0,5875
	1v1b	5	21	14	0,5625
	1v2b	5	21	14,6	0,6
3	1h*	5	21	16,1	0,69375
	1v1*	5	21	15,3	0,64375
	1v2*	5	21	15,6	0,6625
4	2h	5	21	10,6	0,35
	2v1	5	21	10,6	0,35
	2v2	5	21	10,6	0,35
5	4h	5	21	9,3	0,26875
	4v1	5	21	9,9	0,30625
	4v2	5	21	9,9	0,30625
6	4v2*	5	21	9,9	0,30625
7	5v1	5	21	9,7	0,29375
8	5h	5	21	9,2	0,2625
	5v1*	5	21	9,6	0,2875
	5v2	5	21	9,5	0,28125
9	7h	5	21	12,3	0,45625
10	8h	5	21	9,5	0,28125
	8v1	5	21	9,5	0,28125
	8v2	5	21	9,5	0,28125

\*La solución se ha aplicado a partir de otra solución anterior.

### 9.9- Cálculo de transmitancias de los cerramientos utilizados.

CASOS					
	Capa	e (mm)	$\lambda$ (W/m <sup>2</sup> K)	Rt (m <sup>2</sup> K/W)	U Total
1	Rse			0,04	
	Revestimiento revoco	15	0,7	0,02142857	
	Fábrica de ladrillo de 1 pie	240	0,85	0,28235294	
	Revestimiento enlucido de yeso	15	0,4	0,0375	
	Rsi			0,13	
	Totales	270		0,51128151	1,9559

2 y 3	Rse			0,04	
	Revestimiento revoco	15	0,7	0,02142857	
	Fábrica de ladrillo de 1/2 pie	115	0,85	0,13529412	
	Revestimiento enlucido de yeso	15	0,4	0,0375	
	Rsi			0,13	
	Totales	145		0,36422269	2,7456

4	Rse			0,04	
	Fábrica de ladrillo caravista 1/2 pie	115	0,35	0,32857143	
	Enfoscado de mortero de cemento	15	0,7	0,02142857	
	Cámara de aire sin ventilar	55	0,16	0,34375	
	Fábrica de ladrillo LH4	40	0,32	0,125	
	Revestimiento enlucido de yeso	15	0,4	0,0375	
	Rsi			0,13	
Totales	240		1,02625	0,9744	

5 y 6	Rse			0,04	
	Fábrica de ladrillo caravista 1/2 pie	115	0,35	0,32857143	
	Enfoscado de mortero de cemento	15	0,7	0,02142857	
	Aislante lana de roca	55	0,04	1,375	
	Fábrica de ladrillo LH9	90	0,32	0,28125	
	Revestimiento enlucido de yeso	15	0,4	0,0375	
	Rsi			0,13	
Totales	290		2,21375	0,4517	

7	Rse			0,04	
	Fábrica de ladrillo caravista 1/2 pie	115	0,35	0,32857143	
	Enfoscado de mortero de cemento	15	0,7	0,02142857	
	Cámara de aire sin ventilar	55	0,16	0,34375	
	Aislante EPS	40	0,039	1,02564103	
	Fábrica de ladrillo LH9	90	0,32	0,28125	
	Revestimiento enlucido de yeso	15	0,4	0,0375	
	Rsi			0,13	
Totales		330		2,20814103	0,4529

8	Rse			0,04	
	Fábrica de ladrillo caravista 1/2 pie	115	0,35	0,32857143	
	Enfoscado de mortero de cemento	15	0,7	0,02142857	
	Aislante EPS	40	0,039	1,02564103	
	Fábrica de ladrillo LH9	90	0,32	0,28125	
	Revestimiento enlucido de yeso	15	0,4	0,0375	
	Rsi			0,13	
	Totales		275		1,86439103

SOLUCIONES					
	Capa	e (mm)	$\lambda$ (W/m <sup>2</sup> K)	Rt (m <sup>2</sup> K/W)	U Total
Rehabilitación de 1: Adición de hoja por el intradós	Rse			0,04	
	Revestimiento revoco	15	0,7	0,02142857	
	Fábrica de ladrillo de 1 pie	240	0,85	0,28235294	
	Revestimiento enlucido de yeso	15	0,4	0,0375	
	Lana mineral no hidrófila	60	0,04	1,5	
	Placa de yeso laminado	10	0,25	0,04	
	Rsi			0,13	
	Totales		340		2,05128151

Rehab. De 2: Adición de hoja por el exterior	Rse			0,04	
	Aplacado de piedra	30	1,3	0,02307692	
	Cámara de aire vertical de 50mm ligeram vent.	50		0,09	
	Poliestireno expandido	40	0,039	1,02564103	
	Revestimiento revoco	15	0,7	0,02142857	
	Fábrica de ladrillo de 1/2 pie	115	0,85	0,13529412	
	Revestimiento enlucido de yeso	15	0,4	0,0375	
	Rsi			0,13	
Totales		265		1,50294064	0,6654

4+Inyección esp. Poliuretano en cámara	Rse			0,04	
	Fábrica de ladrillo caravista 1/2 pie	115	0,35	0,32857143	
	Enfoscado de mortero de cemento	15	0,7	0,02142857	
	Espuma de poliuretano	55	0,04	1,375	
	Fábrica de ladrillo LH4	40	0,32	0,125	
	Revestimiento enlucido de yeso	15	0,4	0,0375	
	Rsi			0,13	
	Totales	240		2,0575	0,486

## 10- Bibliografía

- BOE 12/09/2013 - CTE-DB-HE: Código técnico de la Edificación: Documento Básico de Ahorro de energía.

- IVE - Instituto valenciano de la Edificación: Catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación. Ed. IVE.

- SOLE, Josep; URSA (Grupo Uralita): Manual para el uso de Therm para el cálculo de puentes térmicos en edificios.

- IET - Instituto Eduardo Torroja: Catálogo de elementos constructivos del CTE.

- LLACER, Enrique David; APARÍCIO FERNÁNDEZ, Carola: Apuntes de construcción.

- VVAA; Carli Inc.: Conrad 5 and viewer 5 technical and programming documentation.

- VVAA; Lawrence Berkeley National Laboratory: Therm 6.3/Window 6.3 NFRC Simulation Manual.

- VVAA; LBL: Therm for analyzing two-dimensional heat transfer through building products.

- ISO 15099:2012: Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations.

- RITE - Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios. 2013.

- JANSÁ, J.Mª: Puertas y ventanas. Ed. JM Jansa. 1975.

- INE, Instituto Nacional de Estadística: Datos estadísticos sobre vivienda.

[http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo\\_de\\_los\\_elementos\\_finitos](http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_los_elementos_finitos)

### Catálogos de fabricantes de ventanas:

Posaclima, Technal, Valuar, Veka, Alumial.

Publicaciones científicas consultadas:

- VVAA, Applied Energy: Different methods for the modeling of thermal bridges into energy simulation programs: Comparisons of accuracy for flat heterogeneous roofs in Italian climates. Jul. 2011
- VVAA, Energy and Buildings: Influence of cavities geometric and emissivity properties on the overall thermal performance of aluminum frames for windows. Sep. 2012.
- VVAA, Energy and Buildings: Influence of horizontal joint on the thermal properties of single-leaf walls with lightweight clay blocks. Feb.2012.
- VVAA, Energy and Buildings: The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions. Abril 2007.
- VVAA, Solar Energy: Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade. Jun.2010.
- VVAA, Applied Thermal Engineering: Energy evaluation of an horizontal open joint ventilated façade. Agosto 2011.
- VVAA, Applied Thermal Engineering: Simplified state representation for evaluating thermal bridges in building. Modeling, application and validation of methodology. Febrero 2013.
- VVAA, Energy and Buildings: Economic efficiency of solar housing thermal upgrade in Mediterranean climate. Agosto 2012.
- Yalçın Yasar/Sibel Maçka Kalfa, Energy Conversion and Management: The effects of window alternatives on energy efficiency and building economy in high-rise residential buildings in moderate to humid climates. Feb 2010.
- Sami A. Al-Sanea/M.F. Zedan, Applied Energy: Effect of thermal bridges on transmission loads and thermal resistance of building walls under dynamic conditions. Enero 2012.
- A. Ben Larbi, Energy and Buildings: Statistical modeling of heat transfer for thermal bridges of buildings. Dic. 2004.
- VVAA, Applied Energy: A building thermal bridges sensivity analysis. Julio 2012.
- VVAA, Energy and Buildings: Thermal performance evaluation of fiber-reinforced polymer thermal breaks for balcony connections. Jul. 2013.
- VVAA, Energy and Buildings: Impact of balcony thermal bridges on the overall thermal performance of multi-unit residential buildings: A case study. Nov. 2012.