

### Análisis de puentes térmicos de fachada autoportante de ladrillo caravista, STRUCTURA, para edificios ECCN y Passivhaus

Jesus Ángel Duque, Dr. Arquitecto  
Victor Alesanco, Ing. Industrial

#### RESUMEN

Desde la aprobación del Código Técnico de la Edificación, (CTE en adelante), allí por el año 2006, se han ido aumentando las exigencias para el control de la demanda y el consumo de Energía de los edificios, que se sustentan en el Documento Básico de Ahorro de Energía (HE).

Desde el primer texto aprobado se han ido sucediendo diversas modificaciones, la última el pasado 20 de diciembre de 2019, en período transitorio en el momento en el que se escribe este artículo, pero con la esperanza de que esté vigente en el momento en el que se publique.

Todas ellas, han supuesto un endurecimiento en las condiciones a tener en cuenta en el proyecto y construcción de los edificios, y que en calidad de proyectistas y/o directores de obra deberemos satisfacer para dar cumplimiento al requisito reglamentario.

Así, subyace, en el texto las políticas de la comisión europea de descarbonizar el parque residencial en el horizonte del 2050, con reducciones del consumo de Energía primaria en los edificios del entorno del 90%, y en consecuencia, la necesidad de construir bajo el concepto de Edificio de Consumo Casi Nulo, definido en el marco normativo español como *“edificio, nuevo o existente, que cumple con las exigencias reglamentarias establecidas en este Documento Básico “DB HE Ahorro de Energía” en lo referente a la limitación de consumo energético para edificios de nueva construcción”*.

Cabe mencionar en este contexto de exigencia, la aparición de certificaciones y estándares internacionales que buscan la excelencia en los edificios que se proyectan y construyen bajo los criterios que establecen.

Sin duda, el de mayor relevancia y penetración a nivel internacional en materia de eficiencia energética es el estándar Casa Pasiva de PassivHaus Institut.

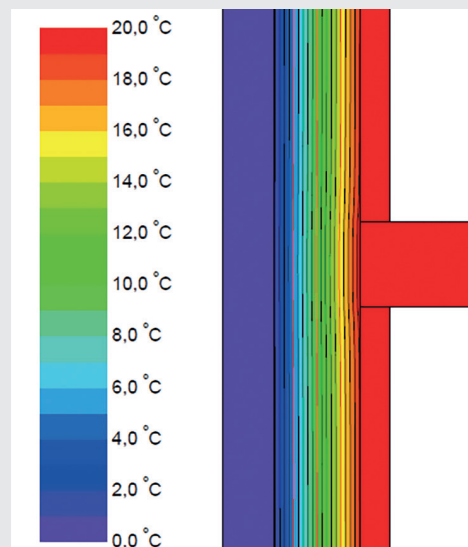
Se trata, éste, de un estándar de construcción de todo tipo de edificios, de alta eficiencia energética, con un elevado nivel de confort (CLASE A s. UNE EN ISO 7730) y económicamente sostenibles. El origen del estándar lo encontramos en a finales de los 80 en Alemania, a partir de las investigaciones de los profesores Bo Adamson y Wolfgang Feist.

Podríamos definir un edificio PassivHaus, en origen, como aquel en el cual, la cantidad de energía necesaria para proporcionar el confort interior puede ser aportada únicamente a través del sistema de ventilación.

Existe abundante literatura, cada vez más accesible para el mercado español, sobre los principios de aplicación del estándar. Podemos sustanciar que el objetivo anterior se consigue aplicando ciertos invariantes al proceso constructivo, como son:

- Elevado nivel de aislamiento.
- Minimización de los puentes térmicos de la construcción.
- Empleo de ventanas de altas prestaciones [Se debe entender la ventana como el conjunto de marco y vidrio debiendo ponderarse las pérdidas y las ganancias solares a través de éstos componentes].
- Alta hermeticidad.
- Ventilación Mecánica de doble flujo con recuperación de calor.

Tal y como observamos, el concepto de aislamiento está presente en tres de los pilares, siendo uno de ellos la eliminación, mejor control por lo que veremos más adelante, de los puentes térmicos.



En este marco global, tanto desde la óptica reglamentaria, CTE, como desde la aplicación de estándares de alta eficiencia, CASA PASIVA, se muestra como fundamental el control de la demanda de energía de los edificios, garantizando la calidad de la envolvente térmica, para limitar así necesidad de recursos para que en el interior de los edificios se alcancen las condiciones de confort. Es evidente, en este punto que no se puede alcanzar el control efectivo de la demanda en los edificios sin un diseño adecuado para minimizar el efecto de los puentes térmicos. Es decir no se podrá alcanzar las prestaciones de un ECCN, si un adecuado diseño de la envolvente térmica minimizando la incidencia de éstos.

Además, deberemos proyectar y construir la envolvente de manera, que, sus prestaciones no se mermen ni desaparezcan durante la vida útil del edificio.

En este sentido, se deben considerar en el diseño las condensaciones intersticiales, que son las que afectan a durabilidad de los componentes de la envolvente, y, en consecuencia, las que tendrán incidencia en el sostenimiento de las propiedades térmicas a lo largo de la vida del edificio.

Por otra parte, en el diseño deberemos tener en consideración las condensaciones superficiales, que afectan a la salubridad del ambiente interior, tratadas en el documento CTE DB HS, y que el estudio también considera.

Así, en los últimos años han proliferado sistemas constructivos que buscaban disponer un aislamiento continuo por el exterior, para minimizar el efecto de los puentes térmicos.

En este contexto se pretende el análisis de los puentes térmicos del sistema constructivo de fachada autoportante de ladrillo cara vista, STRUCTURA, tanto desde el punto de vista de la eficiencia energética como desde la salubridad.

Este sistema aún la técnica constructiva usando fábricas de ladrillo visto, de amplia tradición en España, con la posibilidad de disponer un aislamiento continuo por el exterior, posibilitando su empleo en la construcción de los edificios de consumo casi nulo. [ECCN]

Los resultados del estudio se muestran en forma de atlas, para facilitar el empleo del sistema constructivo a los proyectistas, dotándoles de una herramienta de predimensionado precisa, tanto en el campo del cumplimiento normativo, como en el de las certificaciones energéticas independientes como el mencionado estándar CASA PASIVA.

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO STRUCTURA

STRUCTURA® es la marca registrada por los fabricantes de ladrillo cara vista de HISPALYT para denominar a las fachadas autoportantes de ladrillo cara vista.

En la actualidad, el único sistema constructivo reconocido por la marca STRUCTURA es el sistema G.H.A.S.® (Geo-Hidrol Advanced System) desarrollado por la empresa GEO-HIDROL.

Este sistema constructivo se basa en el empleo de anclajes de retención y armaduras de tendel para la ejecución de muros de albañilería autoportantes, para su uso como hoja exterior en cerramientos de fachada ventilada o no ventilada.

El sistema propuesto hace posible la continuidad vertical del muro pasante por delante de la estructura, gravitando en toda su altura sobre si mismo, sin juntas horizontales de movimiento ni angulares de apoyo.

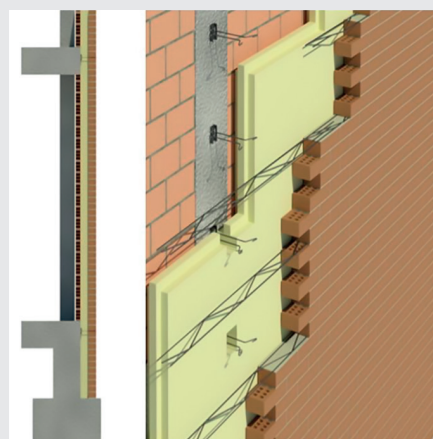


Figura 1: Fachada autoportante de ladrillo cara vista STRUCTURA-GHAS.

El sistema permite la ejecución de una cámara entre la hoja de albañilería y la estructura de espesor hasta 200 mm que puede ser rellena de aislamiento térmico.

## PUENTES TÉRMICOS EN LOS EDIFICIOS

El Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico HE, sección HE1, define puente térmico como aquella zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.

La norma UNE-EN ISO 10211 define puente térmico como aquella parte del cerramiento de un edificio donde la resistencia térmica normalmente uniforme cambia significativamente debido a:

- penetraciones completas o parciales en el cerramiento de un edificio, de materiales con diferente conductividad térmica;
- un cambio en el espesor de la fábrica;
- una diferencia entre las áreas internas o externas, tales como juntas entre paredes, suelos, o techos.

Podríamos agrupar los puentes térmicos en:

- Constructivos: aquellos que se producen por variaciones de conductividad y/o espesor del cerramiento. En definitiva, donde se produce una variación de la resistencia térmica en el cerramiento.
- Geométricos: aquellos que tienen que ver con la diferencia de área entre la cara interior y exterior del cerramiento.

El estándar Casa Pasiva promulga una construcción "libre de puentes térmicos", considerándose ésta, aquella en la que el valor de la conductividad lineal es inferior a  $\psi < 0.01 \text{ W/mK}$  o el producto de la densidad de puntuales ( $\text{m}^{-2}$ ) por su conductividad es inferior a  $nX < 0.01 \text{ W/m}^2\text{K}$ , medidos, ambos, en un sistema dimensional exterior.

Como veremos, más adelante, los puentes térmicos constructivos son inevitables e inherentes a la propia construcción, por lo que se debe minimizar su efecto desde las primeras fases de proyecto.

Además de la connotación energética ya esbozada, los puentes térmicos son partes sensibles de los edificios al aumentar en ellos el riesgo de formación de mohos por condensaciones superficiales debidas a la disminución de la temperatura de las superficies interiores (análisis en condiciones de invierno). Esta incidencia, en la salubridad del espacio, debe ser tenida en cuenta también por el proyectista.

Dicho lo anterior, en el estudio de los puentes térmicos del sistema STRUCTURA se han tenido en cuenta:

ASPECTO	PROPIEDAD
Energético	Conductividad lineal [ $\psi$ ] Conductividad puntual [ $X$ ]
Salubridad	Factor de resistencia superficial [ $F_{rsi}$ ]
Confort	Sin incidencia en el ámbito del estudio

## CONSIDERACIONES EN EL CÁLCULO DE LOS ASPECTOS ENERGÉTICOS

El efecto en el flujo de calor a través de la envolvente de un edificio que producen los puentes térmicos es la aparición de componentes bidimensionales o tridimensionales, en lugar del comportamiento unidimensional, que aparece en los cerramientos homogéneos y que se caracteriza definiendo la transmitancia térmica del componente  $U$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ].

Así, la formulación general del flujo de calor a través de un cerramiento se puede expresar, de forma simplificada, como:

$$\Phi_T = (\Sigma U_i A_i + \Sigma \psi_j L_j + \Sigma X_k)(\theta_i - \theta_e) = U_m A_t (\theta_i - \theta_e)$$

Ecuación 1: Expresión global simplificada de la transferencia de calor

Donde:

- $\Phi_T$  flujo de calor por conducción [W]
- $U_i$  transmitancia térmica del elemento  $i$  de la envolvente [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ], de área  $A_i$  [ $\text{m}^2$ ]
- $\psi_j$  transmitancia térmica lineal del encuentro  $j$  del edificio [ $\text{W/mK}$ ] y  $L_j$  la longitud de ese encuentro [m]
- $X_k$  transmitancia térmica del puente térmico puntual  $k$  [ $\text{W/K}$ ]
- $U_m$  transmitancia térmica media de la envolvente [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ] incluido el efecto de los puentes térmicos
- $A_t$  superficie total de transmisión [ $\text{m}^2$ ]

El primer término de la ecuación expresa el comportamiento global adicionando el efecto del flujo unidimensional ( $U$ ), el flujo bidimensional ( $\psi$ ) y el tridimensional ( $X$ ).

Si despreciamos el efecto del flujo tridimensional tenemos:

$$\Phi_T = (\Sigma U_i A_i + \Sigma \psi_j L_j)(\theta_i - \theta_e) = U_m A_t (\theta_i - \theta_e)$$

Ecuación 2: Expresión global simplificada de la transferencia de calor sin contribución del flujo tridimensional

Así despejando en (2) podemos expresar la transferencia térmica adicional que se produce por un flujo bidimensional (puente térmico lineal) en un cerramiento, con relación a la transferencia térmica unidireccional que se produciría en el mismo, como:

$$\psi L = \frac{\Phi_{2D}}{(\theta_i - \theta_e)} - \sum_n (A_i U_i)$$

Ecuación 3: Transferencia térmica adicional referida a la unidimensional

Donde:

- $\psi$  transmitancia térmica [ $\text{W/mK}$ ]
- $\Phi_{2D}$  flujo de calor a través del elemento analizado mediante un modelo bidimensional [W]
- $L$  longitud del encuentro [m]
- $\theta_i - \theta_e$  diferencia de temperaturas entre interior y exterior [K]
- $U_i$  transmitancia térmica del elemento adyacente  $i$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]
- $A_i$  superficie a la que se aplica el valor  $U_i$  [ $\text{m}^2$ ]

De la ecuación anterior, una vez conocido el flujo de calor bidimensional, puede deducirse el valor de la conductividad lineal vinculada al puente térmico analizado por unidad de longitud. La obtención del valor de  $\varphi_{2D}$  se ha llevado a cabo con el software apropiado basado en elementos finitos<sup>1</sup>.

De la ecuación (3) se deduce que el efecto del componente bidimensional es función del componente unidimensional  $[A_i \times U_i]$ .

En consecuencia el valor de la conductividad lineal es función del sistema dimensional con el que se compute el flujo de calor, es decir, variará el valor de  $\Psi$ , en función de cómo se contabilice el valor  $[A_i \times U_i]$ , en dimensiones interiores (CTE) o exteriores (estándares Casa Pasiva y Enerphit).

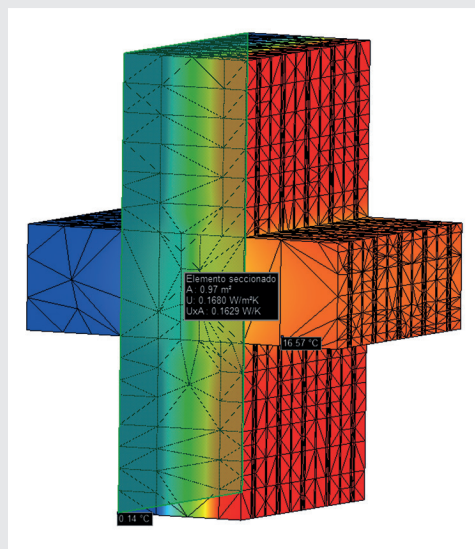


Figura 2: Cálculo del valor total del flujo de calor con programa específico de elementos finitos.

En definitiva el valor de la conductividad puente térmico es un “corrector” a la cantidad de calor que computamos en el análisis unidimensional.

### CONSIDERACIONES EN LA COMPROBACIÓN DE LOS ASPECTOS DE SALUBRIDAD

Las condensaciones superficiales suponen un riesgo para la salud de los ocupantes de un edificio, al propiciar la formación de moho. Se ha comprobado que este riesgo se incrementa significativamente al mantenerse valores de humedad relativa por encima del 80% durante días.

La limitación del riesgo de formación de moho puede simplificarse exigiendo al cerramiento que en ningún momento se alcance, en su punto más frío<sup>2</sup>, humedades relativas por encima del 80%.

El método del factor de resistencia superficial<sup>3</sup> permite esta comprobación. En este método se efectúa una comparación entre dos factores adimensionales, el de la temperatura de la superficie interior del cerramiento ( $f_{RSi}$ ) y el de la temperatura de la superficie interior mínimo aceptable ( $f_{RSi.min}$ ) que hace que no se alcance el riesgo de formación de moho en el cerramiento.

Se deberá verificar que:

$$f_{RSi} > f_{RSi.min}$$

Donde:

$$f_{RSi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

$$f_{RSi.min} = \frac{\theta_{si.min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

$\theta_{si}$	Temperatura mínima en la superficie interior del cerramiento (°C)
$\theta_i$	Temperatura del ambiente interior (20 °C)
$\theta_e$	Temperatura del ambiente exterior (0°C)
$\theta_{si.min}$	Temperatura en la superficie interior del cerramiento aceptable (°C)
$f_{RSi.min}$	Factor de temperatura superficial aceptable (°C) <sup>4</sup>
$f_{RSi}$	Factor de temperatura superficial interior (°C)

El valor de  $f_{RSi}$  podemos obtenerlo a partir de aplicaciones específicas o a partir de la obtención de la temperatura mínima de la superficie interior del área de influencia del puente térmico. Se considera que el valor de  $f_{RSi}$  es independiente a los valores de temperatura interior y exterior a los que se refiera<sup>5</sup>.

La temperatura superficial interior se obtiene con un valor de Resistencia superficial interior independiente de la dirección del flujo de calor de 0.25 m²K/W, para valorar el aumento de la capacidad de aislamiento de la película anterior al cerramiento por efecto del mobiliario, cortinas, esquinas, etc.

El valor de  $f_{RSi.min}$  será función del clima y de la higrometría del espacio interior, ya que según la ecuación anterior, depende de que es función del clima y que es función de la higrometría del espacio (en edificios clase III).

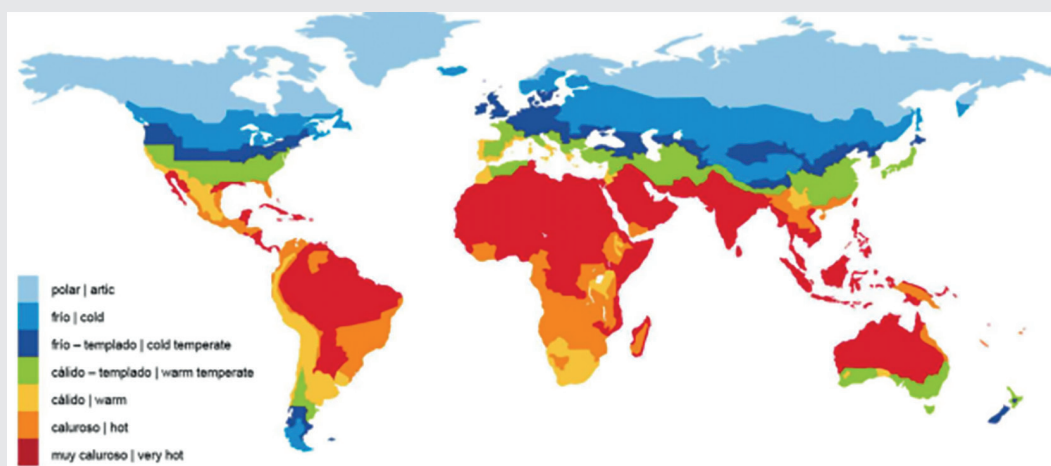
Para el cumplimiento de la exigencia DB HE, encontramos tabulado el valor  $f_{RSi.min}$  para cada una de las zonas climáticas de invierno consideradas en el CTE, en la Tabla 1 del DA-DB-HE-2\_Condensaciones

	a	A	B	C	D	E
$f_{RSi.min}$	0.42	0.50	0.52	0.56	0.61	0.64

De forma análoga, para la certificación Casa Pasiva o Enerphit, debemos considerar los siguientes valores de  $f_{RSi.min}$  en función de la zonificación climática que establece PassivHaus Institut.

	1 Polar	2 Frio	3 Frio Templado	4 Cálido Templado	5 Cálido	6 Caluroso	7 Muy Caluroso
$f_{RSi.min}$	0.8	0.75	0.7	0.65	0.55	(---)	(---)

Figura 3: Asignación de regiones con iguales requisitos, basada en estudios del PHI.



1 Se han empleado en este estudio FLIXO ENERGY PLUS 7.0 y MOLD 4 DYNAMIC

2 Obviamente se trata de la zona de influencia de los puentes térmicos que existan en el cerramiento.

3 UNE EN ISO 13788: 2002

4 Función de las condiciones interiores de temperatura y humedad relativa.

5 Puede admitirse esta simplificación en las condiciones normales de uso de los edificios.

7 Transmittancia de la ventana, obtenida de acuerdo con el apartado 2.1.4.1. del documento DA-DB-HE-1. Se considera en el cálculo la influencia del marco, vidrio, acoplamiento marco – vidrio y acoplamiento marco – muro.

8 Ver valores en el atlas.

## DESCRIPCIÓN DE LOS PUEENTES TÉRMICOS ANALIZADOS EN EL TRABAJO

El análisis de los puentes térmicos se ha realizado en función de diferentes calidades de envolvente térmica, es decir, con mayor o menor cantidad de aislamiento. El cerramiento se ha definido a partir del DAU del sistema, modificándose, únicamente el espesor de aislamiento a 100 mm, 150 mm y 200 mm.

Los valores de transmitancia de muro utilizados para cada espesor de aislamiento son:

Transmitancia, $U_m$ [W/m²K]	Espesor Aislamiento, $e$ [mm]
0,308 W/m²K	100 mm
0,218 W/m²K	150 mm
0,168 W/m²K	200 mm

En el estudio se ha considerado un aislamiento convencional con una conductividad térmica lineal  $\lambda = 0.037$  W/mK.

A efectos de cálculo no se ha considerado la adhesión de una cámara de aire ventilada entre el aislamiento y el ladrillo caravista puesto que su consideración no es significativa en el valor de la conductividad lineal del puente térmico, siendo del orden de la centésima.

Los materiales empleados en los modelos térmicos y su codificación y propiedades son:

	Material	$\lambda$ (W/mK)	$e$ (mm)
	Fábrica de ladrillo interior	0.430	70
	Fábrica de ladrillo exterior	0.570	120
	Hormigón armado	2.500	
	Ventana tipo	0.104	10
	Madera genérica	0.130	
	Piedra	2.000	
	Aislamiento	0.037	

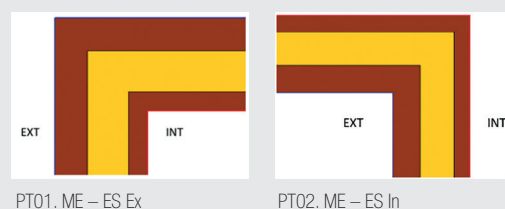
La codificación utilizada para la identificación de puentes térmicos es la siguiente:

ME:	Muro exterior
FO:	Forjado
CU:	Cubierta
VI:	Alféizar de ventana
VS:	Dintel o jamba de ventana
LP:	Losa de piso o solera
ESIn:	Esquina cóncava
ESEx:	Esquina convexa

## FAMILIAS DE PUEENTES TÉRMICOS

### 1. Esquina

Se analiza esquina cóncava y esquina convexa



### 2. Canto de forjado

Por la propia definición del sistema, se considera el aislante pasando por el frente del forjado, de ahí que los valores de conductividad térmica lineal sean muy bajos.

Se considera todo el espesor del forjado es de hormigón, obviándose la incidencia de las piezas de aligeramiento, debido a que, previsiblemente en el borde aparecerá una zona macizada.

Se ha tabulado la solución para cantos de forjado de 200 mm, 250 mm, 300 mm.

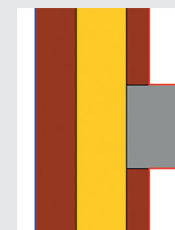
Para los casos en los que el aislante sea pasante en la mitad de su espesor, simplificando, podremos tomar los valores del atlas multiplicados por el coeficiente ( $\alpha$ ) que se aporta a continuación en función del sistema dimensional empleado.

$$\psi_{50} = \alpha \cdot \psi_{ATLAS}$$

Espesor aislante (mm)	200	150	100
Sist. Dim. exterior	27	21	16
Sist. Dim. interior	2.0		

### 3. Tabiquería

Se evalúa en esta familia la incidencia que tiene en el cerramiento el encuentro con la tabiquería interior.



### 4. Ventanas

La instalación de la ventana es uno de los aspectos que más influye en el cálculo del puente térmico. Por ello, esta familia se ha desagregado en tres posibilidades de instalación:

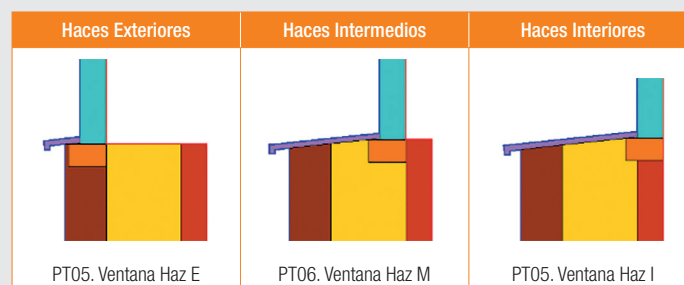
- haces interiores
- haces exteriores
- haces intermedios



Para cada una de ellas se ha procedido al cálculo del valor  $\psi$  y del valor  $f_{RSI}$  de jambas, dinteles y alféizar. Para estos últimos se han introducidos albardillas con inclinación.

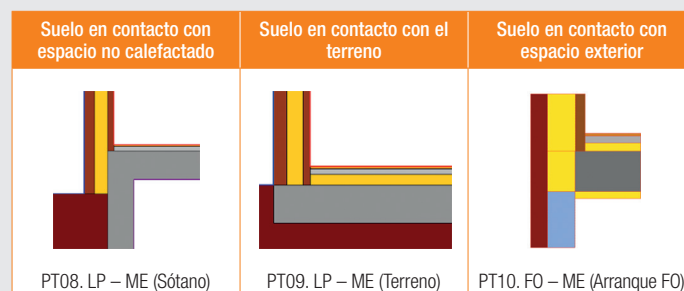
La variación de la  $U_w$ , apenas influye en el valor de  $\psi$ , tomando como referencia valores normales para el cumplimiento de la exigencia del CTE y Passivhaus. Por este motivo, para los cálculos, se ha considerado un único valor  $U_w = 1.40$  W/m²K.

Se supone una mínima continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería de la ventana. La colocación de la ventana a haces exteriores, sobre la fábrica, no es recomendable en zonas climáticas D y E, ya que no se garantiza el valor mínimo de  $F_{RSI}$ .



### 5. Arranque de fachada, suelos y losas de piso

Esta familia se desagrega en dos subgrupos, suelo en contacto con el terreno y suelo en contacto con espacio no calefactado.



Los valores de transmitancia de componente utilizados para los cálculos de esta familia son:

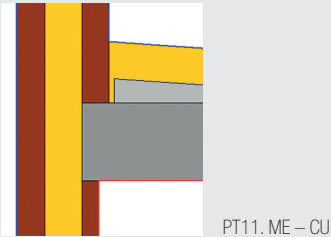
Componente	Transmitancia, $U_g$ [W/m²K]
Suelo – terreno con aislamiento en solera de 10 cm	0,332 W/m²K
Suelo – espacio calefactado sin aislamiento	2,267 W/m²K
Suelo – espacio no calefactado con aislamiento de 5 cm	0,558 W/m²K
Suelo planta primera – planta baja con aislamiento de 10 cm	0,304 W/m²K

6. Cubierta

Se analiza en esta familia el puente térmico que se produce en el encuentro entre cubierta plana y fachada.

En cuanto a los espesores de aislamiento de fachada se mantiene el criterio de las condiciones generales y para cubierta se consideran los siguientes:

Transmitancia, $U_g$ [W/m²K]	Espesor Aislamiento, $e$ [mm]
0,333 W/m²K	100 mm
0,229 W/m²K	150 mm
0,175 W/m²K	200 mm

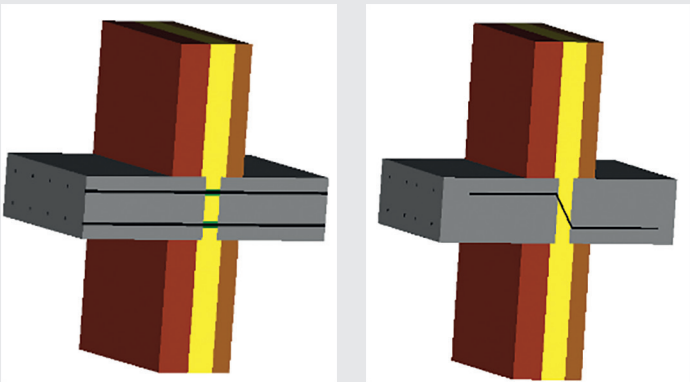


PT11. ME – CU

7. Conector de balcón o “ruptor de puente térmico”

Por la propia descripción este conector busca reducir el valor del puente térmico y el efecto en la demanda con la introducción de un elemento aislante en el forjado. Para el estudio de los conectores de balcón se ha establecido un forjado tipo de 250 mm, ya que el espesor de forjado no tiene prácticamente influencia en el valor del puente térmico lineal del detalle constructivo.

La configuración de la solución constructiva es la siguiente:

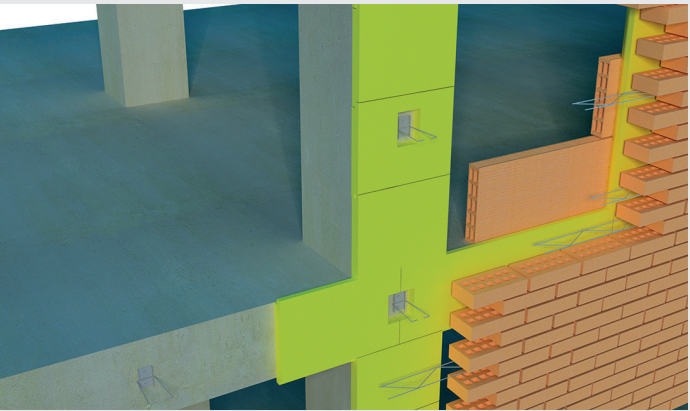
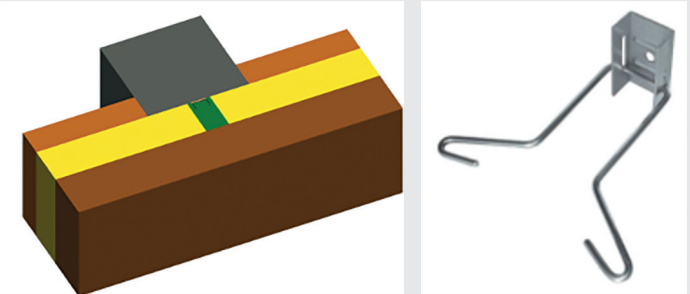


PT12. Conector de balcón aislado

8. Anclaje puntual

Se trata de un anclaje metálico que sirve de estructura para el cuelgue de la fábrica, al que se le adosa, en su caso, una lámina de caucho de espesor 3 mm y conductividad térmica (0.04 W/mK). La cuantía considerada en los cálculos es de 0.64 ud/m², que se corresponde con la práctica habitual del sistema.

Se muestra en el diagrama, en verde, el espacio ocupado por el anclaje.



PT12. Anclaje puntual

ATLAS DE Puentes Térmicos y Archivos Gráficos para THERM

Como resultado del estudio se han desarrollado una serie de tablas con valores para los distintos puentes térmicos de un edificio con fachada autoportante Structura.

De este modo, empleando dichas tablas, el proyectista puede encontrar: el valor de transmitancia térmica lineal ( $\psi$  (W/m K) o puntual ( $\chi$  (W/K) (según sea el caso) de cada puente térmico, necesario para realizar el cálculo térmico global de su edificio, así como el valor del factor de temperatura de la superficie interior del cerramiento ( $f_{Rsi}$ ), necesario para evaluar la limitación del riesgo de formación de condensaciones superficiales.

A continuación, se muestra un ejemplo de dichas tablas del caso del encuentro de la fachada con el frente del forjado. El atlas completo se puede descargar de la página web de Structura, [www.structura.es](http://www.structura.es).

Adicionalmente, a dichas tablas en el informe del estudio se incluye el cálculo detallado de los valores mostrados en el atlas con software de elementos finitos.

Además del atlas, el proyectista tiene a su disposición los archivos gráficos para el cálculo de los puentes térmicos con el software gratuito Therm, con el fin de que el usuario pueda adaptarlos a las particularidades de su proyecto.

## 5.2.3 FAMILIA PT02 ME – IN EX

FORJADO 20						FORJADO 25						FORJADO 30					
(Medidas Exteriores)			(Medidas Interiores)			(Medidas Exteriores)			(Medidas Interiores)			(Medidas Exteriores)			(Medidas Interiores)		
e. (mm)	$\Psi$ (W/mK)	$F_{R,s}$	e. (mm)	$\Psi$ (W/mK)	$F_{R,s}$	e. (mm)	$\Psi$ (W/mK)	$F_{R,s}$	e. (mm)	$\Psi$ (W/mK)	$F_{R,s}$	e. (mm)	$\Psi$ (W/mK)	$F_{R,s}$	e. (mm)	$\Psi$ (W/mK)	$F_{R,s}$
200	0,001	0,975	200	0,035	0,975	200	0,002	0,974	200	0,044	0,974	200	0,002	0,973	200	0,052	0,973
150	0,002	0,967	150	0,046	0,967	150	0,003	0,966	150	0,057	0,966	150	0,003	0,965	150	0,068	0,965
100	0,005	0,953	100	0,067	0,953	100	0,005	0,952	100	0,083	0,952	100	0,006	0,950	100	0,099	0,950



Figura 4: Puentes térmico lineal del encuentro de la fachada Structura con el frente del forjado.

## 5.2.5 FAMILIA PT05 VENTANA HAZ EXTERIOR

ME - VI			ME - VS / ME - VL		
Muro - Ventana Inferior			Muro - Ventana Sup. / Lat.		
e. (mm)	$\Psi$ (W/mK)	$F_{R,s}$	e. (mm)	$\Psi$ (W/mK)	$F_{R,s}$
200	0,057	0,586	200	0,093	0,580
150	0,051	0,592	150	0,086	0,581
100	0,042	0,595	100	0,076	0,584



## 5.2.6 FAMILIA PT06 VENTANA HAZ INTERMEDIO

ME - VI			ME - VS / ME - VL		
Muro - Ventana Inferior			Muro - Ventana Sup. / Lat.		
e. (mm)	$\Psi$ (W/mK)	$F_{R,s}$	e. (mm)	$\Psi$ (W/mK)	$F_{R,s}$
200	0,060	0,815	200	0,058	0,815
150	0,054	0,811	150	0,052	0,842
100	0,052	0,797	100	0,051	0,799



## 5.2.7 FAMILIA PT07 VENTANA HAZ INTERIOR

ME - VI			ME - VS / ME - VL		
Muro - Ventana Inferior			Muro - Ventana Sup. / Lat.		
e. (mm)	$\Psi$ (W/mK)	$F_{R,s}$	e. (mm)	$\Psi$ (W/mK)	$F_{R,s}$
200	0,094	0,787	200	0,092	0,788
150	0,087	0,785	150	0,085	0,788
100	0,077	0,783	100	0,075	0,785



Figura 5: Puentes térmico lineal del encuentro de la fachada Structura con la ventana.

## 5.2.13 FAMILIA PT13 ANCLAJE PUNTUAL

ANCLAJE PUNTUAL					
Con lámina de caucho			Sin lámina de caucho		
e. (mm)	$\chi$ (W/K)	$F_{R,s}$	e. (mm)	$\chi$ (W/K)	$F_{R,s}$
200	0,019	0,965	200	0,021	0,965
150	0,019	0,961	150	0,021	0,960
100	0,019	0,951	100	0,021	0,950

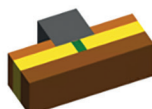


Figura 6: Puentes térmico puntual de los anclajes de retención de la fachada a los pilares.

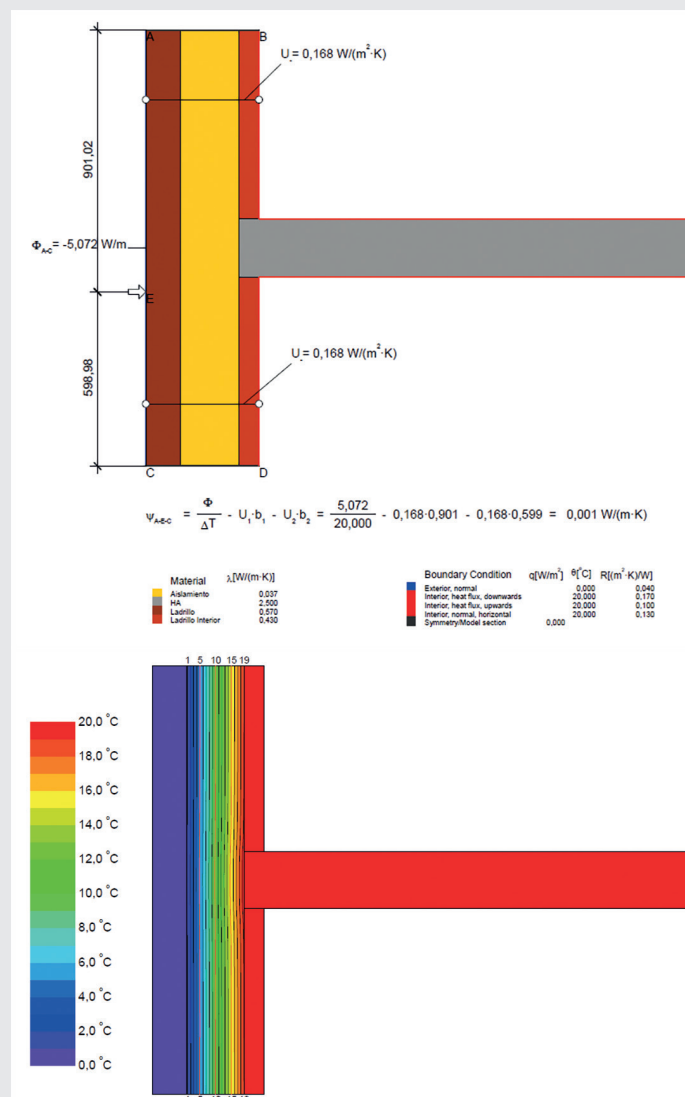


Figura 7: Ejemplo cálculo detallado de puente térmico. Encuentro de la fachada Structura con el frente del forjado. PT03 ME – FO-20 200 MM. Cálculo detallado e isotermas.

## CONCLUSIÓN

Las exigencias, cada vez más elevadas, y en continua revisión, hacen que los agentes intervinientes en el proceso constructivo exijan mayor conocimiento de los materiales y sistemas constructivos que utilizan, tanto el marco del mero cumplimiento normativo, CTE, como el manejo de otros estándares de calidad, como puede ser la certificación Casa Pasiva.

En el camino que transitamos hacia los Edificios de Consumo Casi Nulo, nuestra técnica constructiva ha de adoptar ciertas sensibilidades que han estado desterradas de nuestra práctica constructiva por diversos motivos, y que ahora están considerando, como son el control de los puentes térmicos y de la hermeticidad en los edificios.

En este marco, la necesidad de proporcionar a las proyectistas herramientas que les sirvan a priori para el conocimiento del sistema constructivo elegido, no hará sino redundar en la fiabilidad del uso del sistema y en la puesta en valor del mismo frente a otras técnicas disponibles.

Este atlas pretende ser utilizado para el predimensionado de los componentes de la envolvente térmica, tanto en el proceso de certificación Casa Pasiva o Enerphit de PassivHaus Institut, o el mero cumplimiento de nuestro marco normativo.



Los artículos técnicos son facilitados por Hispalyt (asociación española de fabricantes de ladrillos y tejas de arcilla cocida) y forman parte de los programas de investigación que desarrolla sobre los distintos materiales cerámicos y su aplicación.

+ en [www.conarquitectura.com](http://www.conarquitectura.com)

Producto: Ladrillo cara vista

Dirigido a: Proyectista

Contenidos: Diseño