

STRUCTURA: Fachada autoportante de ladrillo cara vista para cumplir el CTE. Máxima eficiencia energética y estabilidad estructural garantizada

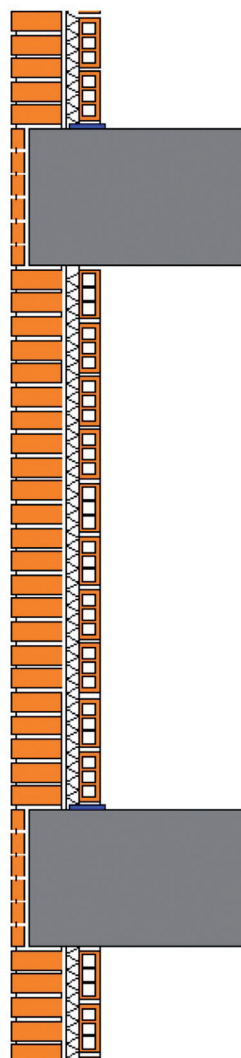
Presentación de Elena Santiago, Secretaria General de Hispalyt

Estimado lector: este ejemplar de la revista conarquitectura (número 57 de febrero del año 2016) que tienes en las manos es el segundo monográfico sobre fachadas autoportantes de ladrillo cara vista.

Desde el primer monográfico de la revista sobre fachadas autoportantes de ladrillo cara vista (número 44 de octubre del año 2012) se han producido cambios normativos importantes, como el **nuevo DB HE del CTE** (Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación), de obligado cumplimiento desde marzo del año 2014, **que promueve de una forma clara la utilización de las fachadas autoportantes de ladrillo cara vista, frente a las fachadas convencionales.**

Por ello, en este número de la revista queremos explicar los cambios del nuevo DB HE del CTE y cómo afectan éstos a las tipologías de fachadas de ladrillo cara vista, a través de esta introducción y del artículo técnico.

Así, empezamos esta introducción detallando estas dos tipologías de fachada.



Fachada confinada entre forjados

Las fachadas convencionales o confinadas entre forjados de ladrillo cara vista tienen las **ventajas propias de los materiales cerámicos**, como elevadas prestaciones técnicas, durabilidad, bajo mantenimiento, bajo coste, altas posibilidades expresivas, etc. Además, **hasta ahora cumplían los diferentes requisitos del CTE**: Estructural (DB SE-F), Impermeabilidad (DB HS), Aislamiento térmico (DB HE), Aislamiento acústico (DB HR) y Resistencia al fuego (DB SI).

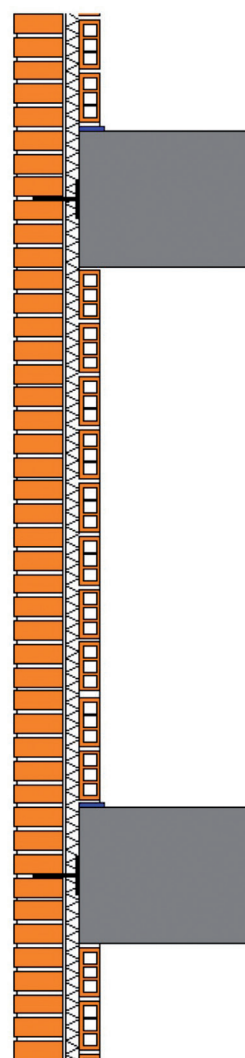
No obstante, este tipo de fachadas tiene limitaciones de tipo:

- **Estructural:** La hoja exterior de la fachada se interrumpe y se estrangula a su paso por delante de los forjados. Al apoyar parcialmente la pared de ladrillo en los forjados, su uso está limitado a determinadas situaciones de altura libre entre forjados y separación entre pilares. Además, en la obra normal es que los frentes de forjado no estén perfectamente alineados, por lo que puede haber plantas en las que el apoyo de la pared de ladrillo en el forjado sea insuficiente, comprometiendo la estabilidad de la fábrica.

- **Higrotérmico:** Existen puentes térmicos en la unión de la fachada con los frentes de forjado, que además pueden dar lugar a condensaciones superficiales.

- **Estético:** Al requerir plaquetas cerámicas en el frente del forjado, pueden aparecer diferencias de tonalidad entre los ladrillos y dichas plaquetas.

- **Constructivo:** El empleo de las plaquetas cerámicas en los frentes del forjado disminuye el rendimiento en obra, y requiere el empleo de mano de obra muy profesional, para que no se "marquen" los cantos de forjado.



Fachada autoportante

Las fachadas autoportantes de ladrillo cara vista tienen ventajas de tipo:

- **Estructural:** La hoja exterior de la fachada apoya sobre todo su espesor descargando a la estructura del edificio del peso de la fachada. La hoja exterior de la fachada se "ata" a la estructura del edificio a través de anclajes a forjados y pilares y de armadura en los tendeles de mortero, evitando problemas de estabilidad y no existiendo limitaciones de uso, aplicando los modelos de cálculo en viga o placa del DB SE-F del CTE.

- **Higrotérmico:** Se eliminan los puentes térmicos de frentes de forjado y se reducen las condensaciones en el interior de la cámara. Además, estas fachadas pueden ser ventiladas si la cámara de aire es de un ancho suficiente y se dimensiona para que sea posible la circulación de aire en su interior.

- **Estético:** Al eliminar el paso de la pared de ladrillo por el frente del forjado y no requerir el empleo de plaquetas cerámicas se evitan posibles diferencias de tonalidad entre los ladrillos y dichas plaquetas.

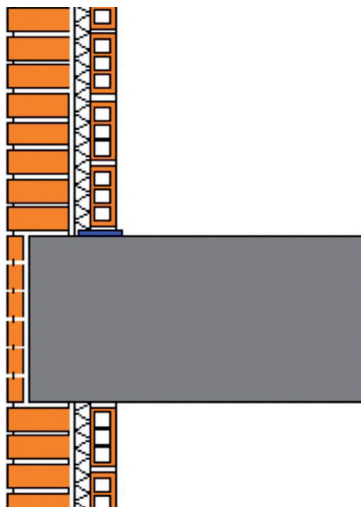
- **Constructivo:** Al no ser necesaria la colocación de plaquetas en los frentes de forjados se consiguen unos altos rendimientos de ejecución. Además, la colocación de anclajes y armadura es muy sencilla, por lo que la ejecución de estas fachadas no se requiere mano de obra especializada.

- **Acústico:** Las fachadas autoportantes tienen unas prestaciones acústicas superiores a las fachadas convencionales, permitiendo su uso en lugares más expuestos a la contaminación acústica.

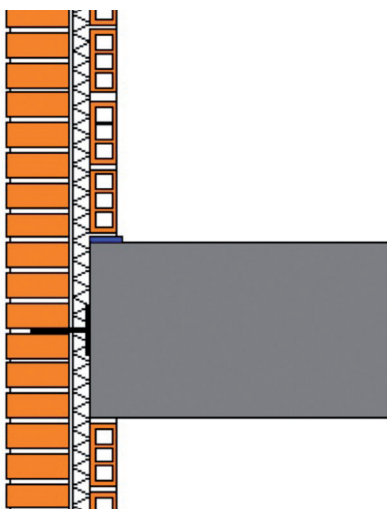
- **Económico:** El coste de estas fachadas es similar al de las convencionales, ya que el sobrecoste de los elementos auxiliares (anclajes y armaduras) se compensa con los elevados rendimientos y la optimización de mano de obra.

El nuevo DB HE del CTE, que como se ha dicho anteriormente es obligatorio desde marzo de 2014, no sólo supone un considerable incremento de las exigencias de aislamiento térmico, sino también un cambio de filosofía para la justificación térmica del edificio. Entre otras cosas, implica que además de que los elementos constructivos de la envolvente del edificio tengan unas buenas prestaciones térmicas, haya que tener en cuenta otros factores relacionados con el diseño del edificio, como la orientación del edificio, su compactidad, la ventilación e infiltración, los puentes térmicos, etc.

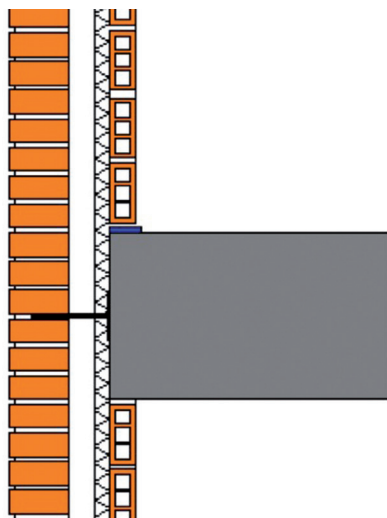
Así, **con el nuevo DB HE del CTE es fundamental evitar los puentes térmicos**, con el fin de limitar el importante impacto que tienen sobre la demanda energética del edificio, siendo el **puente térmico de frentes de forjado** el que tiene un impacto negativo mayor, al no permitir constructivamente la continuidad del aislamiento térmico por el interior.



Fachada convencional o confinada entre forjados



Fachada autoportante de ladrillo cara vista (estanca)



Fachada autoportante de ladrillo cara vista (ventilada)

El comportamiento del puente térmico de frentes de forjado es muy diferente en la solución constructiva de fachada de dos hojas de ladrillo cara vista **convencional** y en la **autoportante**.

Tal y como puede apreciarse en las figuras de la izquierda, **únicamente es posible evitar el puente térmico en frentes de forjado con la solución constructiva de fachada autoportante de dos hojas de ladrillo cara vista**, tanto estanca como ventilada, ya que con la tipología de fachada confinada entre forjados, no es posible conseguir la continuidad del aislamiento térmico.

Por ello, la solución constructiva de fachada de dos hojas de ladrillo cara vista que tiene mayor facilidad para cumplir las nuevas exigencias térmicas del DB HE es la fachada autoportante, ya que la continuidad del aislamiento térmico en el cerramiento evita la formación de puentes térmicos en los frentes de forjado y pilares, siendo con ello significativamente mejor el comportamiento higrotérmico de estas soluciones que el de las fachadas convencionales, en las que se interrumpe el aislamiento térmico en los forjados.

Así, para cumplir las exigencias del DB HE por parte de las fachadas de dos hojas de ladrillo cara vista el sistema constructivo de fachada autoportante podrá emplearse normalmente en todas las zonas climáticas, mientras que el uso de las fachadas confinadas, estará normalmente limitado a zonas climáticas favorables y a determinados diseños de edificios.

En consecuencia, la **fachada autoportante de ladrillo cara vista es la solución constructiva óptima para cumplir las exigencias térmicas del nuevo DB HE del CTE**, al conseguir edificios con la máxima calificación energética.

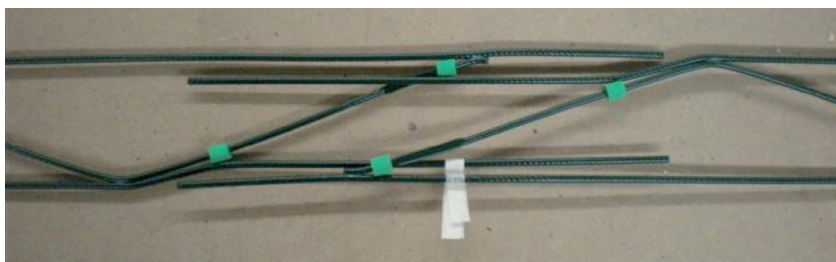
El primer sistema de fachada autoportante desarrollado en España fue el **sistema G.H.A.S.®** (Geo-Hidrol Advanced System) de la empresa **Geohidrol**, que consiste en arrancar la fachada desde un elemento firme (cimentación, forjado de primera planta, angular, etc), y disponer anclajes en forjados y pilares que garantizan la estabilidad de la fábrica, y armadura de tendel para transmitir esfuerzos horizontales, consiguiendo de esta forma el "atado" de la fachada a la estructura del edificio.

En el sistema G.H.A.S.® las funciones de **los anclajes** son la retención frente a la acción del viento, la reducción de la longitud de pandeo y el control de la fisuración, permitiendo los movimientos de la fábrica



Anclaje a pilares y forjados

Armadura de tendel



en su propio plano, pero nunca en el plano de la acción del viento. Hay anclajes para cargas moderadas y para grandes cargas. Los anclajes no intervienen en el grado de ventilación de la fachada y deben tener la longitud apropiada en función del espesor de la cámara y de la fachada.

Y las **armaduras de tendel** se colocan para resistir las tracciones debidas a la flexión horizontal originada por la acción de viento.

El sistema G.H.A.S.® de fachada autoportante de Geohidrol se desarrolló hace más de 10 años para evitar las patologías de tipo estructural que aparecían en algunas fachadas convencionales o confinadas entre forjados. Este sistema es válido para todo tipo de fábricas de albañilería: de ladrillo cara vista, de ladrillo para revestir, de bloque cerámico, de bloque de hormigón, etc.

Para promover su utilización, los fabricantes de ladrillo cara vista asociados a Hispalyt crearon también hace más de 10 años la marca **Structura**, para denominar a las **fachadas autoportantes de ladrillo cara vista con sistema G.H.A.S.®** de Geohidrol.

El sistema constructivo **Structura** de fachada autoportante de ladrillo cara vista destaca por:

- ✓ Arrancar desde cimentación, forjado de primera planta, etc, sin apoyos en los forjados.
- ✓ Disponer de anclajes en forjados y pilares que garanticen la estabilidad de la fábrica y de armadura de teniel para transmitir esfuerzos horizontales.
- ✓ Eliminar los puentes térmicos del frente del forjado.

Además, las fachadas **Structura** presentan las siguientes ventajas:

Máximas prestaciones técnicas

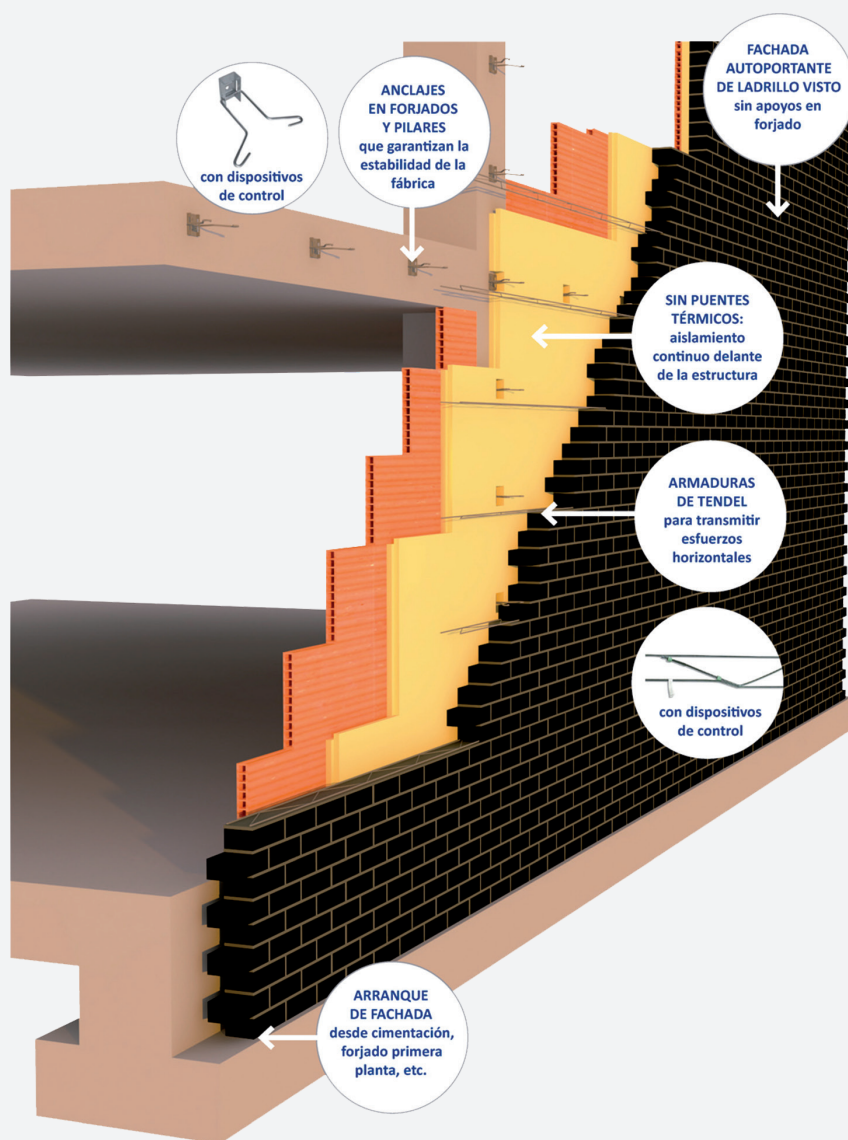
- ✓ Cumple todos los DBs del CTE: HE, HS, HR, SE-F y SI.
- ✓ La mejor opción para cumplir el DB HE del CTE, sin puentes térmicos ni condensaciones.
- ✓ Además, la fachada puede ser ventilada

Mejores garantías y precio

- ✓ Más de 300 obras ejecutadas en España en los últimos 10 años.
- ✓ Cálculo estructural según CTE: gratuito y sin compromiso.
- ✓ Con D.A.U. (Documento de Adecuación al Uso).
- ✓ La fachada más económica que cumple el CTE.

Mejor comportamiento mecánico

- ✓ Autoportante: sin plaquetas ni angulares de apoyo en el forjado.
- ✓ Máxima planeidad y tonalidad homogénea en cantos de forjado.
- ✓ Rapidez y facilidad de ejecución: sin necesidad de instaladores cualificados.
- ✓ Sin incertidumbres de ejecución: anclajes y armaduras con dispositivos de control.
- ✓ Aplicable a vivienda, edificios singulares y de gran altura.



Aunque hay en el mercado otros sistemas de fachada autoportante para fábricas de albañilería, el único sistema constructivo reconocido por la marca **Structura** es el sistema **G.H.A.S.®** de Geohidrol, y esto es debido fundamentalmente a las altas prestaciones técnicas de sus productos, garantizadas por el marcado CE y el D.A.U. (Documento de Adecuación al Uso) y por los servicios técnicos ofrecidos, como



cálculo estructural según CTE gratuito y sin compromiso.

En este número de la revista *conarquitectura*, además de destacar las ventajas de las fachadas autoportantes de ladrillo cara vista **Structura** con respecto a las fachadas confinadas entre forjados, tanto por sus mejores prestaciones térmicas como estructurales, queremos poner de manifiesto que no se trata de una solución constructiva

novedosa o creada "ad hoc" para cumplir el DB HE del CTE, sino que las fachadas autoportantes de ladrillo cara vista **Structura** surgen hace más de 10 años, habiéndose construido hasta la fecha más de 300 obras en las que no ha habido ningún siniestro ni patología.

Prueba de ello es que hay un primer monográfico de la revista *conarquitectura* sobre fachadas autoportantes de ladrillo cara vista (número 44 de octubre del año 2012) y se han publicado otras obras con fachada autoportante de ladrillo cara vista **Structura** en números posteriores de la revista, como la obra "56 Viviendas en bloque abierto en Mirasierra. Madrid" en el número 51 o el "Teatro-Auditorio Llinars del Vallés" en el número 56. Así, la información contenida tanto en esta introducción como en el artículo técnico son fácilmente contrastables con los arquitectos y constructores de estas obras.

El lector interesado podrá encontrar más información sobre las fachadas autoportantes de ladrillo cara vista **Structura** en la página web www.structura.es.

Desde **Hispalyt** confiamos en que esta información pueda servir para conocer en profundidad las tipologías y ventajas de las fachadas de ladrillo cara vista, que representan una de las unidades constructivas más importantes en las obras de edificación de nuestro país.

STRUCTURA, Fachada autoportante de ladrillo cara vista para cumplir el CTE

Concepción del Río Vega
Doctor Arquitecto. Profesora Titular de la U.P.M. Departamento técnico de Geohidrol
Elena Santiago Monedero
Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Secretaria General de Hispalyt
Ana Ribas Sangüesa
Ingeniera Agrónoma. Departamento técnico de Hispalyt

RESUMEN

Las fachadas de ladrillo cara vista representan una de las unidades constructivas más importantes en las obras de edificación de nuestro país. Paradójicamente, sus prestaciones, soluciones y especificaciones técnicas no han sido suficientemente consideradas en la normativa de obligado cumplimiento hasta la aprobación del Código Técnico de la Edificación (en adelante, CTE). Así, la forma de concebir, proyectar y construir los cerramientos de fachada evolucionó durante la segunda mitad del siglo pasado sin el respaldo de un cambio en el mismo sentido de la normativa o, al menos, de sus reglas de aplicación.

La elaboración del CTE supuso un considerable esfuerzo de unificación de todas las normas de obligado cumplimiento que regulan el proceso edificatorio en nuestro país, armonizándolas con las exigencias que impone la Comunidad Europea. Supuso también un esfuerzo por cubrir lagunas y dar respaldo legal a determinados materiales, sistemas y tipos constructivos que habían permanecido durante décadas en un vacío legal, entre los cuales estaban los cerramientos de fachada (Maiztegi, A. & Astudillo, J., 2006).

En este marco de cambio en el ámbito de la edificación en España, y sobre todo debido al nuevo enfoque de la normativa, que pasó a tener un carácter prestacional en lugar de prescriptivo, se gestó el tipo constructivo de fachada autoportante STRUCTURA para afrontar el reto que suponía la nueva normativa con soluciones competitivas y de elevadas prestaciones, para los cerramientos de fachada de ladrillo cara vista.

La fachada autoportante STRUCTURA es el resultado de una rigurosa y sistemática exploración de las diferentes soluciones de fachada que se venían utilizando hasta ese momento, analizadas bajo la óptica de las exigencias de índole mecánica para cumplir el requisito esencial de Resistencia y Estabilidad (Río, C. & Gil, J., 2006). Este tipo constructivo se decantó como la mejor solución desde el punto de vista estructural, por su simplicidad constructiva, por sus elevadas prestaciones y por el bajo coste en recursos auxiliares (Hispalyt, 2008).

STRUCTURA es la marca que identifica el tipo constructivo de “fachada autoportante” para la hoja exterior de los cerramientos de fachada con ladrillo cara vista empleando el sistema G.H.A.S.

Esta solución consiste esencialmente en disponer la hoja exterior del cerramiento pasando por delante de la estructura del edificio en la totalidad de su espesor, utilizando el propio muro de ladrillo como elemento estructural portante de sí mismo. Con el sistema G.H.A.S. de fachada autoportante, ésta arranca desde un elemento firme (cimentación, forjado de primera planta, angular, etc), y emplea anclajes en forjados y pilares que garantizan la estabilidad de la fábrica, y armadura de tendel para transmitir esfuerzos horizontales, consiguiendo de esta forma soportar las acciones horizontales de viento.

Recientemente, las normas de edificación han experimentado otro cambio importante en el ámbito relacionado con la eficiencia energética de los edificios, para adaptarlas al cumplimiento del ambicioso Objetivo 2020. Se han modificado, tanto las prestaciones exigidas a los edificios en materia de ahorro de energía con un considerable aumento de las exigencias, como el enfoque a utilizar para su análisis. Esta circunstancia afecta directamente a la unidad constructiva de los cerramientos de fachada, como parte integrante de la envolvente térmica de los edificios.

La fachada autoportante de ladrillo cara vista STRUCTURA es muy eficaz desde el punto de vista de la eficiencia energética de la envolvente exterior del edificio, puesto que elimina los puentes térmicos que se producen en el encuentro de la fachada con los forjados y pilares; permitiendo, además, soluciones de fachada ventilada, incorporando las ventajas que ello supone en el comportamiento higrotérmico.

Así, ante el nuevo Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE) del CTE, obligatorio desde marzo del año 2014, la fachada autoportante STRUCTURA es la solución óptima, ya que podrá emplearse normalmente en todas las zonas climáticas, mientras que el uso de las fachadas confinadas, estará normalmente limitado a zonas climáticas favorables y a determinados diseños de edificios.

Además, la fachada autoportante STRUCTURA no es una solución constructiva novedosa para cumplir el DB HE del CTE, ya que el sistema G.H.A.S.® de fachada autoportante se desarrolló hace más de 10 años para evitar las patologías de tipo estructural que aparecían en algunas fachadas convencionales o confinadas entre forjados.

Y es que desde el punto de vista de la respuesta estructural, la solución de fachada autoportante sustentada sobre sí misma también es más eficaz que las soluciones convencionales de ladrillo

apoyadas planta a planta en los forjados, puesto que los efectos beneficiosos del propio peso y de la continuidad contribuyen en buena medida a la estabilidad frente a las acciones horizontales.

1. CUMPLIMIENTO DEL DB HE DEL CTE DE LAS FACHADAS DE LADRILLO CARA VISTA

1.1. Cambio de la normativa sobre ahorro de energía DB HE del CTE

El 12 de septiembre de 2013 se publicó en el BOE la Orden de actualización del Documento Básico “Ahorro de Energía” (en adelante, DB HE) del Código Técnico de la Edificación (en adelante, CTE), que estaba vigente desde el año 2006 (Real Decreto 314/2006).

Esta actualización del DB HE responde a la voluntad del Ministerio de cumplir con la Directiva Europea (Directiva 2010/31/UE) relativa a la eficiencia energética de los edificios, que marca el objetivo de conseguir edificios de consumo energético casi nulo¹ para el año 2020; y obliga a establecer y revisar periódicamente los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios, tales como los que se fijan en el CTE.

Los Estados miembros de la Unión Europea se han comprometido para el año 2020 a reducir un 20% con respecto al año 1990 tanto las emisiones de CO2 como el consumo de energía primaria y que el 20% de la energía consumida proceda de energías renovables (Objetivo 20/20/20). Así, esta actualización del DB HE constituye la primera etapa de aproximación hacia este ambicioso objetivo.

El DB HE de 2013 no sólo supone un considerable incremento de las exigencias de aislamiento térmico, sino también un cambio de filosofía en la justificación del cumplimiento de las prestaciones térmicas del edificio. El nuevo documento abandona las exigencias en términos de parámetros específicos de los elementos constructivos que componen la envolvente del edificio (como transmitancias, factores solares, etc.) que recogía en DB HE del año 2006, y establece una limitación al consumo de energía primaria no renovable para los servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (DB HE 0); y una limitación a la demanda energética de calefacción y refrigeración del edificio (DB HE 1).

Las exigencias del nuevo DB HE implican que no sólo es necesario garantizar unas buenas prestaciones térmicas de los elementos constructivos de la envolvente del edificio, sino que además hay que tener en cuenta otros factores relacionados con el diseño, que influyen considerablemente en el cumplimiento del DB HE, como:

- Localización del edificio. Zona climática y microclima local
- Orientación del edificio
- Transmitancia térmica de los cerramientos de la envolvente del edificio (fachadas, cubiertas, suelos en contacto con el aire exterior, muros en contacto con el terreno, medianerías)
- Puentes térmicos
- Ventilación del edificio
- Compacidad del edificio
- Huecos (área de los huecos, transmitancia térmica de vidrios y marcos, factor solar, captación solar)
- Infiltración. Permeabilidad de los huecos
- Obstáculos remotos. Sistemas de sombreado de los huecos.

1.2. Influencia del nuevo DB HE del CTE en los límites de transmitancia de las fachadas

En los edificios de uso residencial privado, el DB HE 1 de 2013 impone determinadas exigencias a las características de los elementos de la envolvente térmica con el objeto de evitar descompensaciones en la calidad térmica de los diferentes espacios habitables. Entre las características que se limitan en la tabla 2.3 del mencionado DB HE 1 consta la transmitancia térmica de las fachadas.

Parámetro	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno ⁽¹⁾ [W/m ² ·K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m ² ·K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos ⁽²⁾ [W/m ² ·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos ⁽³⁾ [m ³ /h·m ²]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

⁽¹⁾ Para elementos en contacto con el terreno, el valor indicado se exige únicamente al primer metro de muro enterrado, o el primer metro del perímetro de suelo apoyado sobre el terreno hasta una profundidad de 0,50m.
⁽²⁾ Se considera el comportamiento conjunto de vidrio y marco. Incluye lucernarios y claraboyas.
⁽³⁾ La permeabilidad de las carpinterías indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa.

Figura 1. Reproducción de la Tabla 2.3 del DB HE 1 de 2013

No obstante, para cumplir las exigencias del DB HE en cuanto a consumo y demanda energética del edificio, los valores de transmitancia térmica requeridos a los elementos constructivos que forman parte de la envolvente térmica del edificio serán generalmente mucho más exigentes que los establecidos en la tabla 2.3 anterior.

¹ La Directiva Europea introduce el concepto de “edificio de consumo energético casi nulo” definido como un edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, en el que la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables. Cada Estado Miembro debe definir un objetivo e incluir su definición de “edificio de consumo energético casi nulo” en un Plan Nacional.

Por ello, la tabla E.1 del Apéndice E del DB HE 1 aporta valores orientativos de transmitancia térmica para el predimensionado de las soluciones constructivas de la envolvente térmica en uso residencial.

Tabla E.1. Transmitancia del elemento [W/m² K]

Transmitancia del elemento [W/m² K]	Zona Climática					
	α	A	B	C	D	E
U_M	0.94	0.50	0.38	0.29	0.27	0.25
U_s	0.53	0.53	0.46	0.36	0.34	0.31
U_c	0.50	0.47	0.33	0.23	0.22	0.19

U_M : Transmitancia térmica de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno
 U_s : Transmitancia térmica de suelos (forjados en contacto con el aire exterior)
 U_c : Transmitancia térmica de cubiertas

Figura 2. Reproducción de la tabla E.1 del DB HE 1 de 2013

El uso de soluciones constructivas con transmitancia térmica igual a la indicada en la tabla E.1 del Apéndice E no garantiza el cumplimiento de las exigencias del DB HE, pero debería conducir a soluciones próximas a su cumplimiento, pudiendo tomarse como referencia para hacer el predimensionado del edificio. Para garantizar el cumplimiento de las exigencias del DB HE, se deberá hacer el cálculo térmico del edificio y verificar que éste cumple las exigencias de consumo y demanda energética fijadas en el DB HE.

Los valores de transmitancia térmica de la tabla E.1 del Apéndice E del nuevo DB HE dan lugar a que en las fachadas convencionales con la hoja exterior de ½ pie de ladrillo cara vista, se tenga que duplicar o incluso triplicar el espesor de aislamiento térmico con respecto al espesor para cumplir el DB HE del año 2006.

Considerando como aislante térmico un poliestireno extruido, los espesores mínimos de aislamiento térmico necesarios para obtener los valores orientativos de transmitancia térmica establecidos en el Apéndice E del DB HE 1 oscilan, en la España peninsular, entre 6 cm en la Zona A y 14 cm en la zona E. Nótese que la mayor parte del territorio nacional está comprendido en las Zonas C, D y E.

Fábrica vista, sin cámara o cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior

espesor mínimo (cm.) para no superar el valor U límite del CTE HE-1

Código	Sección	HE	Zona α	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
F.1.1		1/(0,54+Rat)	3	6	9	12	13	14
			4	4	5	5	6	8

Edificio existente

Figura 3. Espesor mínimo de aislamiento en una fachada convencional de ladrillo cara vista (Fuente: Catálogo de AIPEX Asociación Ibérica de poliestireno extruido)

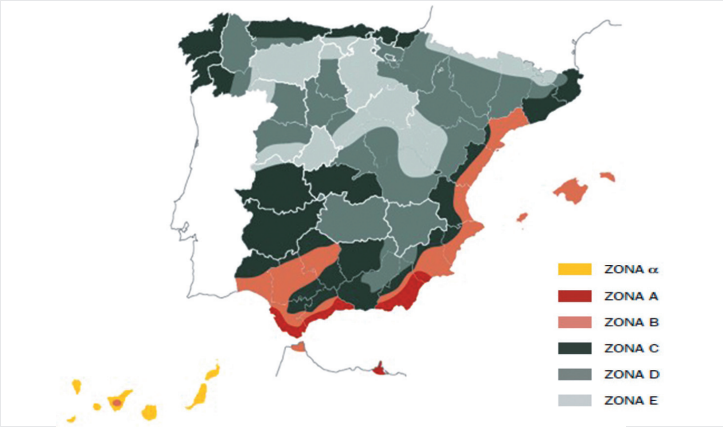


Figura 4. Zonificación climática según el DB HE 1

1.3. Influencia de los puentes térmicos en la eficiencia energética del edificio

Los puentes térmicos son puntos débiles de los cerramientos de fachada, en los que la resistencia térmica cambia significativamente, produciéndose un mayor flujo de calor que en los elementos adyacentes. Se pueden originar por un cambio de espesor del muro de cerramiento, por un cambio de geometría, o por la penetración total o parcial en el muro de cerramiento de otro material con una conductividad menor.

Los puentes térmicos tienen una gran importancia en el comportamiento higrotérmico del edificio por su elevada repercusión en la demanda energética, y por el riesgo que conlle-

² Se define como "puente térmico lineal" el puente térmico con una sección transversal uniforme a lo largo de una dirección.
³ Para poder considerar el comportamiento del puente térmico como un efecto que se superpone al comportamiento unidimensional de los elementos adyacentes de referencia es necesario que los materiales tengan una inercia térmica despreciable o que se trate de una situación estática, sin variación de las temperaturas en el tiempo.

van de formación de condensaciones superficiales en las zonas afectadas, debido a una disminución de la temperatura en las superficies interiores (en condiciones de invierno).

En las fachadas de los edificios habitualmente existen numerosos puentes térmicos, como en la formación de los huecos (jambas, alféizares y cajas de persiana), en el encuentro del muro de cerramiento con los elementos estructurales (pilares y forjados), en las esquinas, etc. Es fundamental el tratamiento constructivo de todos los puentes térmicos para mantener la eficiencia energética del edificio y para evitar la formación de humedades de condensación. La importancia relativa de los puentes térmicos en la eficiencia energética de los edificios aumenta en la misma medida que aumenta el aislamiento de los elementos constructivos que constituyen la envolvente.

1.3.1. Caracterización de los puentes térmicos

El efecto que producen los puentes térmicos en la envolvente térmica del edificio es la aparición de un flujo de calor bidimensional o tridimensional, en lugar de un comportamiento uniforme que se puede describir suponiendo simplemente un flujo unidimensional.

El cálculo preciso del comportamiento global de la envolvente térmica, incluido el efecto de los puentes térmicos, se puede realizar con métodos numéricos o con formulaciones simplificadas, que se fundamentan en introducir, en las expresiones generales de transmisión de calor, determinados parámetros que caracterizan el efecto de los puentes térmicos.

En general, el efecto de los puentes térmicos se puede caracterizar mediante dos parámetros, dependiendo de su naturaleza, definidos como transmitancia térmica lineal Ψ y transmitancia térmica puntual X , aunque este último se suele despreciar al ser menor su impacto en el rendimiento de la envolvente del edificio.

La transmitancia térmica lineal Ψ describe la transferencia térmica adicional de un encuentro (un puente térmico lineal ²) en relación a la transferencia térmica unidimensional de referencia que se produce en los elementos adyacentes. Su expresión es la siguiente: siendo:

- Ψ transmitancia térmica lineal [W/mK]
 - Φ_{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 temperatura entre interior y exterior [K]
- $$\Phi_T = (\sum U_i A_i + \sum \Psi_j L_j) (\theta_i - \theta_e)$$
- U_i transmitancia térmica del elemento adyacente i [W/m²K]
 - A_i superficie a la que se aplica el valor U_i [m²]

La transmitancia térmica lineal Ψ permite resumir en un único parámetro el comportamiento complejo de un puente térmico, de forma similar a como la transmitancia térmica U lo hace para un elemento con transmisión unidimensional ³.

Utilizando la transmitancia térmica lineal Ψ que caracteriza a los puentes térmicos, se puede introducir su influencia en el cálculo del flujo de calor mediante la siguiente expresión que supone la aplicabilidad del principio de superposición de flujos:

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

siendo:

- Φ_T flujo de calor a través de una superficie [W]
- U_i transmitancia térmica del elemento i [W/m²K]
- A_i superficie a la que se aplica el valor U_i [m²]
- Ψ_j transmitancia térmica lineal del puente térmico j [W/mK]
- L_j longitud del encuentro j [m]
- $\theta_i - \theta_e$ diferencia de temperatura entre interior y exterior [K]

1.3.2. Puentes térmicos en el encuentro de la fachada con pilares y forjados

El Ministerio de Fomento ha editado un Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de energía. DA DB-HE / 3 Puentes térmicos que incluye un atlas de puentes térmicos con los valores de transmitancia térmica lineal Ψ para las soluciones constructivas más habituales.

A continuación se recogen los valores de transmitancia térmica lineal Ψ extraídos del DA DB-HE / 3 Puentes térmicos correspondientes al encuentro del cerramiento de fachada con los pilares y con los forjados, así como las soluciones constructivas de fachadas de dos hojas de ladrillo cara vista (convencionales o autoportantes) asociadas a cada uno de los tipos y grupos de puentes térmicos.

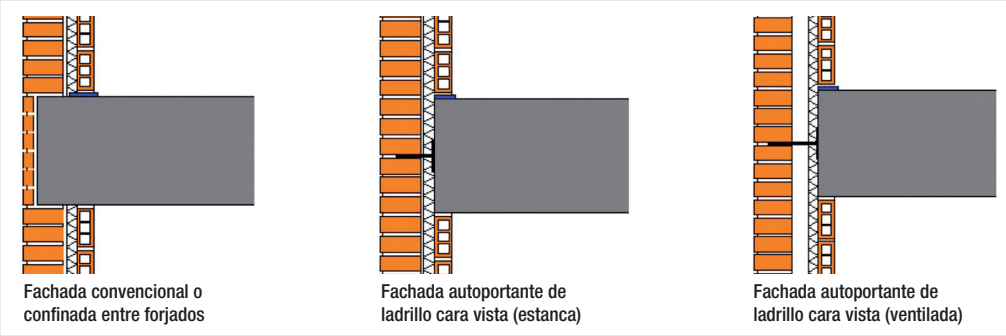
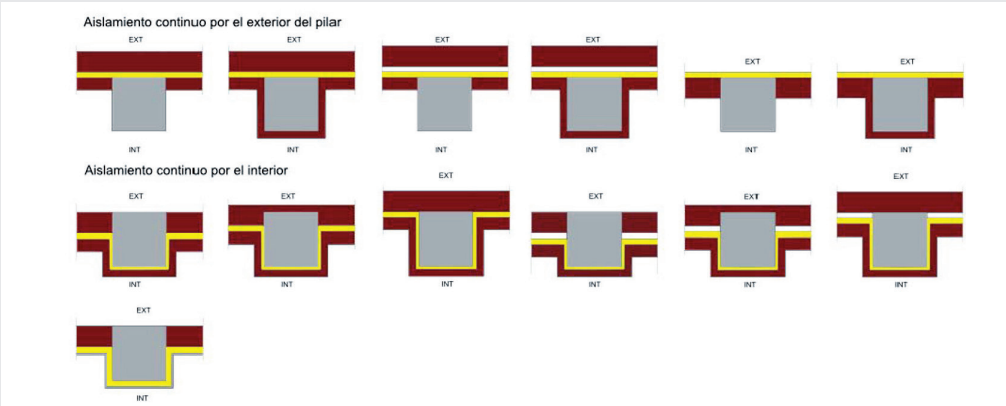


Figura 5. Tipos de fachadas de ladrillo cara vista

1.3.2.1. Puentes térmicos en el encuentro de la fachada con pilares

PILARES INTEGRADOS EN FACHADA. GRUPO 1



El grupo 1 de pilares integrados en fachada contiene detalles en los que el aislamiento térmico de fachada no se interrumpe por la presencia del pilar. Se considera igualmente que el aislamiento es continuo aunque el que protege el pilar sea de otro tipo o espesor.

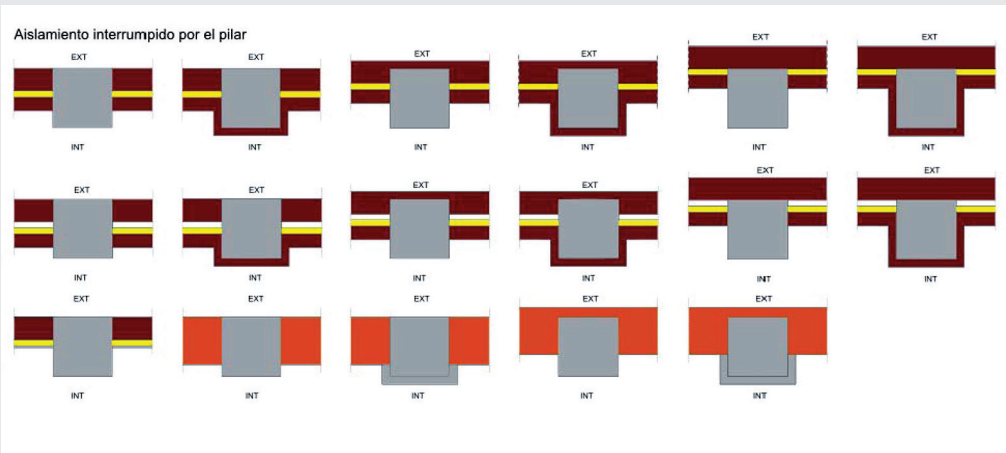
Esta continuidad bien resuelta hace que el puente térmico prácticamente desaparezca, obteniendo unos valores de *transmitancia térmica lineal* despreciables. Ver Tabla 1.

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para las clases higrométricas 4 y 5 en las zonas climáticas D y E con muros de transmitancia térmica alta.

Los coeficientes de puente térmico en pilares integrados en fachada del Grupo 1 se pueden corresponder tanto con la solución constructiva de fachada autoportante con continuidad del aislamiento térmico por el exterior del pilar, como con la tipología de fachada convencional, confinada entre forjados, en la que haya continuidad del aislamiento térmico por el interior del pilar.

PILARES INTEGRADOS EN FACHADA. GRUPO 2

El grupo 2 de pilares integrados en fachada contiene detalles en los que se interrumpe la continuidad d el aislante del muro o los detalles sin aislamiento térmico.



El comportamiento térmico en estos casos es mucho más desfavorable que en los detalles en los que el pilar está protegido mediante aislamiento térmico. La transmitancia térmica lineal tiene un valor del orden de 1 para los pilares de 25x25 y aumenta con el incremento del tamaño del pilar. Ver Tabla 2.

Ψ_e, Ψ_i [W/mK]		
Dimensiones pilar [cm x cm]		
20x20 / 30x30		
U_{muro} [W/m²K]	0,73	0,02
	0,44	0,01
	0,31	0,00
	0,27	0,00
	0,24	0,00

Tabla 1. Transmitancia térmica lineal en pilares integrados con continuidad del aislamiento

Figura 6. Pilares integrados en fachada con continuidad del aislamiento

(Fuente: Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de energía: DA DB HE / 3 Puentes térmicos)

Ψ_e, Ψ_i [W/mK]			
Dimensiones pilar [cm x cm]			
25x25 30x30 35x35			
U_{muro} [W/m²K]	0,73	1,03	1,20
	0,44	1,05	1,24
	0,31	1,00	1,20
	0,27	0,97	1,17
	0,24	0,94	1,15

Tabla 2. Transmitancia térmica lineal en pilares integrados sin continuidad del aislamiento

Figura 7. Pilares integrados en fachada sin continuidad del aislamiento(Fuente: Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de energía: DA DB HE / 3 Puentes térmicos)

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para todas las clases higrométricas en todas las clases climáticas, exceptuando la zona climática α , con menores probabilidades en aquellas soluciones sin aislamiento.

Los coeficientes de puente térmico en pilares integrados en fachada del Grupo 2 se corresponden con la solución constructiva de fachada confinada entre forjados, en la que hay interrupción del aislamiento térmico en el pilar.

En resumen, es posible evitar el puente térmico en pilares integrados en fachada, y por lo tanto tomar los valores de *transmitancia térmica lineal* Ψ del Grupo 1, en las dos soluciones constructivas de fachada de dos hojas de ladrillo cara vista, ya que en la tipología de fachada autoportante la continuidad del aislamiento térmico se consigue por el exterior del pilar, y en la solución constructiva de fachada convencional, confinada entre forjados, la continuidad del aislamiento térmico se puede conseguir por el interior del pilar.

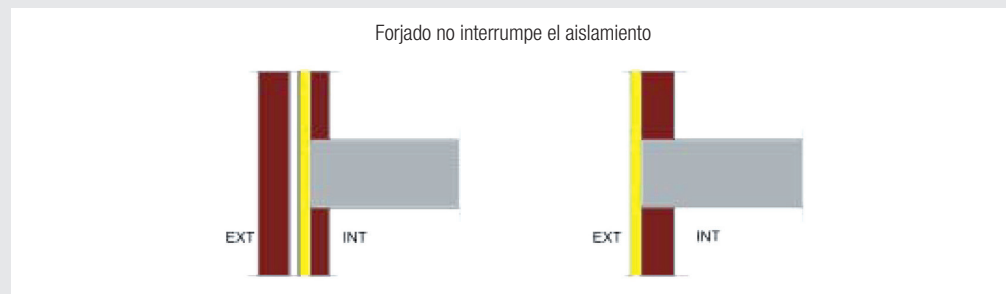
1.3.2.2. Puentes térmicos en el encuentro de la fachada con forjados

FRENTES DE FORJADO. GRUPO 1

	Ψ_e [W/mK]			Ψ_i [W/mK]		
	Espesor forjado [cm]			Espesor forjado [cm]		
	25	30	35	25	30	35
U_{muro} [W/m ² ·K]	0,73	0,02	0,02	0,02	0,25	0,29
	0,44	0,01	0,01	0,01	0,15	0,17
	0,31	0,00	0,00	0,00	0,10	0,12
	0,27	0,00	0,00	0,00	0,09	0,10
	0,24	0,00	0,00	0,00	0,08	0,09

Tabla 3. Transmitancia térmica lineal en frentes de forjado con continuidad del aislamiento de fachada

Figura 8. Frentes de forjado con continuidad del aislamiento de fachada (Fuente: Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de energía: DA DB HE / 3 Puentes térmicos)



Cuando el aislamiento pasa por delante del frente de forjado prácticamente no se produce puente térmico, de ahí los bajos valores que se obtienen para este grupo de detalles. Ver Tabla 3.

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para la clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E con cantos de forjado elevados.

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para las clases higrométricas 4 y 5 en las zonas climáticas D y E, y en el resto de zonas climáticas, a excepción de la zona climática α , con muros de transmitancia térmica alta.

La zona de condensaciones se localiza en los rincones formados por el encuentro entre forjado y muro.

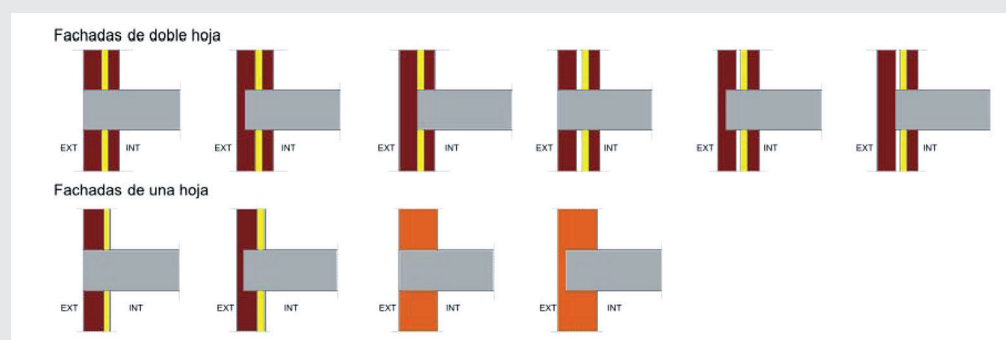
Los coeficientes de puente térmico en frentes de forjado del Grupo 1 se corresponden únicamente con la solución constructiva de fachada autoportante de dos hojas de ladrillo cara vista, en la que existe continuidad del aislamiento térmico por delante de los frentes de forjado. O lo que es lo mismo, los coeficientes de puente térmico en frentes de forjado del Grupo 1 no pueden ser empleados en las fachadas convencionales o confinadas entre forjados.

FRENTES DE FORJADO. GRUPO 2

	Ψ_e [W/mK]			Ψ_i [W/mK]		
	Espesor forjado [cm]			Espesor forjado [cm]		
	25	30	35	25	30	35
U_{muro} [W/m ² ·K]	0,73	0,64	0,70	0,76	0,88	0,97
	0,44	0,67	0,74	0,81	0,81	0,91
	0,31	0,65	0,72	0,79	0,75	0,84
	0,27	0,64	0,71	0,78	0,72	0,81
	0,24	0,62	0,69	0,76	0,70	0,78

Tabla 4. Transmitancia térmica lineal en frentes de forjado sin continuidad del aislamiento de fachada

Figura 9. Frentes de forjado sin continuidad del aislamiento de fachada (Fuente: Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de energía: DA DB HE / 3 Puentes térmicos)



Al ser el hormigón armado un conductor relativamente bueno del calor se produce un puente térmico en el encuentro entre el forjado y el muro. Este grupo tiene valores de transmitancia térmica lineal más desfavorables al no estar aislado el frente de forjado. Ver Tabla 4.

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para la clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas C, D y E, y en climas A y B con muros de transmitancia térmica alta.

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para las clases higrométricas 4 y 5 en todas las zonas climáticas.

La zona de condensaciones se localiza en los rincones formados por el encuentro entre forjado y muro.

Los coeficientes de puente térmico en frentes de forjado del Grupo 2 se corresponden con la solución constructiva de fachada convencional de dos hojas de ladrillo cara vista, en la que existe interrupción del aislamiento térmico del cerramiento en los frentes de forjado.

En resumen, únicamente es posible evitar el puente térmico en frentes de forjado, y por lo tanto tomar los valores de *transmitancia térmica lineal* Ψ del Grupo 1, en la solución constructiva de fachada autoportante de dos hojas de ladrillo cara vista, ya que en la tipología de fachada convencional, confinada entre forjados, no es posible conseguir la continuidad del aislamiento térmico en el frente del forjado.

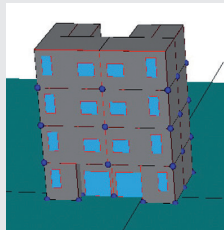
El DB HE implica tener que emplear grandes espesores de aislamiento térmico en los cerramientos, por lo que la colocación de un material aislante entre la plaqueta cerámica y el forjado, de espesor suficiente como para solventar el puente térmico no es viable, puesto que conllevaría reducir considerablemente la entrega de la hoja exterior de ladrillo cara vista, poniendo en riesgo la estabilidad del muro. Y tampoco es viable la colocación de una pintura aislante entre la plaqueta cerámica y el forjado pues no solventa el puente térmico.

1.4. Influencia del tipo de fachada de ladrillo cara vista en los puentes térmicos y en el comportamiento térmico de los edificios

A continuación se recoge un estudio realizado con la Herramienta Unificada LIDER-CALENER en un edificio tipo, comparando el resultado para el caso de *fachada autoportante* de ladrillo cara vista y para el caso de fachada convencional o confinada entre forjados, utilizando los diferentes valores de *transmitancia térmica lineal* Ψ de los frentes de forjado de cada una de estas soluciones constructivas, para obtener el orden de magnitud que tiene la repercusión de los puentes térmicos en frentes de forjado en la demanda energética del edificio, en función de la solución de encuentro de la fachada con el forjado.

Descripción del edificio:

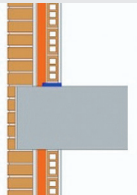
- Ubicación: Madrid (zona climática D3)
- Ventilación con recuperadores de calor (10 l/s)
- Edificio aislado con todos sus muros exteriores de fachada
- Muro exterior con espesor de aislamiento
AT = 15 cm; U = 0,21 W/m²K
- Cubierta con espesor de aislamiento
AT = 14 cm; U = 0,21 W/m²K
- Ventanas con vidrios dobles bajo emisivos
 $\Sigma = 0,03 - 0,1$; U = 1,8 W/m²K y marcos U = 2,2 W/m²K
- Permeabilidad 3 m³/h m²
- Con sombras estacionales



Fachada confinada entre forjados: con interrupción del aislamiento en frentes de forjado

(Coeficientes de puente térmico en frentes de forjado del Grupo 2)

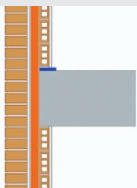
- Pérdidas por puentes térmicos: **17,3 kWh / m² año**
- Demanda de energía anual [kWh / m² año]:
 - o Calefacción: **47,13** Límite: **36,75** → **no cumple**
 - o Refrigeración: **6,9** Límite: **15**



Solución con fachada autoportante: con continuidad del aislamiento en frentes de forjado

(Coeficientes de puente térmico en frentes de forjado del Grupo 1)

- Pérdidas por puentes térmicos: **4 kWh / m² año**
- Demanda de energía anual [kWh / m² año]:
 - o Calefacción: **35,06** Límite: **36,75** → **sí cumple**
 - o Refrigeración: **6,22** Límite: **15**



Como se aprecia en el ejemplo anterior, el sistema constructivo de la hoja exterior de los cerramientos de fachada es fundamental para su comportamiento higrotérmico, sobre todo en lo relativo al encuentro con los forjados del edificio.

El Documento de Apoyo (DA DB HE / 3 Puentes térmicos) en el apartado 5 "Atlas de puentes térmico" indica textualmente lo siguiente:

"Es importante destacar que, en general, se aprecia que el factor más determinante para mejorar el comportamiento de los detalles constructivos es mantener la continuidad del aislamiento de los cerramientos."

"Cuando el aislamiento pasa por delante del frente de forjados prácticamente no se produce puente térmico, de ahí los bajos valores que se obtienen para este grupo de detalles".

En las soluciones de fachada convencional de ladrillo cara vista, la hoja exterior de ladrillo se sustenta en los forjados de cada planta. Para conseguir una apariencia exterior de muro con-

tinuo, la entrega en los forjados se realiza parcialmente, dejando un espacio reservado para el emparchado del frente de forjado con plaquetas cerámicas. Esta disposición produce un estrangulamiento del muro al paso por los forjados, que da lugar a importantes puentes térmicos debido a la interrupción del aislamiento de la fachada en los frentes de forjado. También da lugar a puentes térmicos en los pilares de fachada, al interrumpir el aislante por el exterior de los pilares, pero es posible evitar estos puentes térmicos colocando el aislante por el interior de los pilares.

En función del diseño del edificio y de la zona climática en la que se ubique el mismo, las pérdidas energéticas debidas a los puentes térmicos en el encuentro con los forjados pueden condicionar el cumplimiento de las exigencias térmicas del DB HE para el edificio. El recurso de incrementar el espesor de aislamiento para compensar las pérdidas debidas a los puentes térmicos tiene, como contrapartida, que cuanto más aislado se encuentre el edificio, mayor es el riesgo de que se produzcan condensaciones superficiales en el mismo.

En base a lo anterior, es importante resolver adecuadamente los puentes térmicos de los frentes de forjado, empleando soluciones que mantengan la continuidad del aislamiento térmico en esos puntos. En el caso de las fachadas con acabado exterior de ladrillo cara vista no es posible, por razones obvias, el recurso de colocar el aislamiento por el exterior del edificio. Por otra parte, las exigencias del nuevo DB HE implican la necesidad de utilizar grandes espesores de aislamiento térmico en los cerramientos de fachada, y la solución de revestir con material aislante el frente de los forjados es incompatible geométricamente con el espesor requerido para la estabilidad de las plaquetas cerámicas e, incluso, con el ancho de entrega requerido para la estabilidad del propio muro.

Por todo ello, el sistema constructivo de *fachada autoportante* de ladrillo cara vista, con aislamiento térmico continuo por delante de la estructura, constituye la solución constructiva óptima para garantizar el cumplimiento de las exigencias térmicas del nuevo DB HE, ya que evita la formación de puentes térmicos en los frentes de forjado y pilares.

2. CUMPLIMIENTO DEL DB SE-F DEL CTE DE LAS FACHADAS DE LADRILLO CARA VISTA

2.1. Comportamiento estructural de las fachadas de ladrillo: confinadas, confinadas con angular metálico y no confinadas con junta de movimiento

Si se exploran y analizan los diferentes sistemas que se han utilizado históricamente para resolver los cerramientos de fachada de los edificios, se pueden agrupar en dos tipos fundamentales.

Un primer tipo corresponde a las fachadas que se sustentan sobre sí mismas en toda su altura, en el que se pueden incluir las concebidas como muros de carga. Tradicionalmente solían ser sistemas *monocapa*, o de una hoja, en los que el propio muro resuelve todas las prestaciones exigidas al cerramiento.

El segundo tipo corresponde a las fachadas que se sustentan en los forjados del edificio planta a planta; bien por confinamiento, cuando el material tolera aceptablemente los esfuerzos de compresión; o bien por suspensión, como es el caso de los *muros cortina*, cuando el material resiste esfuerzos de tracción. Estos sistemas son *multicapa*, con varias hojas y barreras específicas para cada una de las prestaciones exigidas al cerramiento.

Los muros de ladrillo son elementos estructurales de un material que pertenece al grupo de los "pétreos", con un excelente comportamiento a compresión. Por esta razón, históricamente, los muros de cerramiento de ladrillo se utilizaban también como elementos esenciales de la estructura portante de los edificios.

Como contrapartida, la resistencia a tracción de los materiales pétreos sólo es testimonial, lo que limita drásticamente su capacidad para resistir la flexión producida por acciones horizontales. Desde tiempo inmemorial esta circunstancia se ha resuelto incorporando carga gravitatoria adicional, cuando la estabilidad de los muros estaba comprometida por la presencia de empujes laterales o acciones horizontales significativas.

2.1.1. Comportamiento estructural de la fachada confinada de ladrillo cara vista (sistema convencional)

Cuando las fachadas de ladrillo cara vista dejaron de ser muros de carga, su comportamiento mecánico cambió sustancialmente. Dejaron de tener la acción gravitatoria esencial para su estabilidad y, sin embargo, debían seguir dando respuesta mecánica a las acciones horizontales, fundamentalmente a la acción de viento. El objetivo fundamental del análisis estructural de estos muros ya no era mantener el valor y trayectoria de la compresión dentro de un rango aceptable, sino que el objetivo pasó a ser la consecución de los recursos necesarios para hacer frente a las acciones horizontales, cuyo efecto se volvió mucho más agresivo puesto que los muros de fachada ya no disponían de la carga gravitatoria estabilizante.

El sistema constructivo que propició resolver esta nueva circunstancia en las fachadas de ladrillo cara vista de los edificios con estructura de pórticos, sin necesidad de recurrir a la es-

casa y poca fiable resistencia a tracción de los muros de fábrica, es el que se ha llamado aquí *sistema convencional*, que consiste en confinar los muros de fachada entre los forjados de piso, para conseguir la estabilidad necesaria ante las acciones horizontales por *efecto arco*, trabajando únicamente a compresión, y contando para ello con la reacción contra los forjados cargados, que suministra el *empuje* necesario para el funcionamiento en arco.

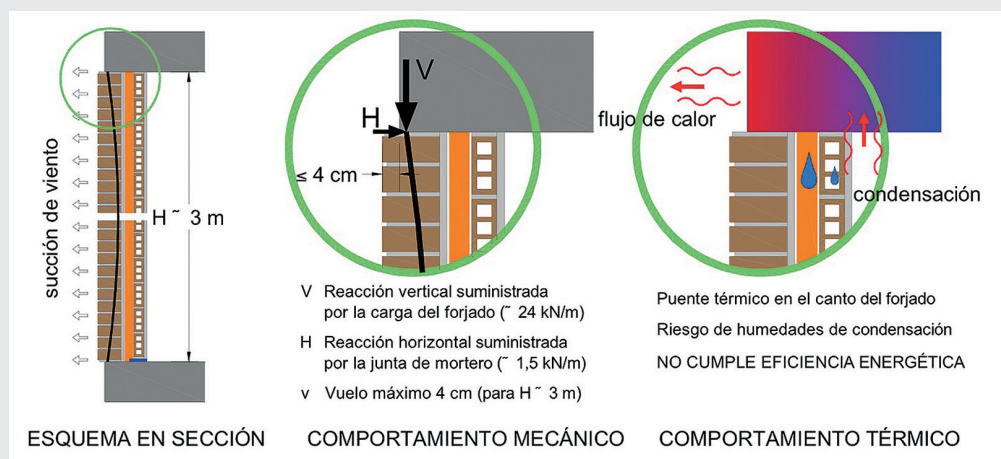


Figura 10. Fachada de ladrillo cara vista confinada entre forjados (*sistema convencional*)

Lamentablemente, el recurso de confinar entre los forjados se impuso para las fachadas de ladrillo sin un marco normativo de respaldo, que recogiera el cambio sustancial en la función mecánica de estos elementos⁴. La respuesta mecánica de los muros de fachada frente a las acciones horizontales por efecto arco requiere un buen confinamiento en los forjados, puesto que la carga gravitatoria de éstos es la componente fundamental del empuje necesario para el equilibrio. El análisis de la resistencia a compresión del arco y, sobre todo, de su deformación, precisa un ancho de entrega mínimo del muro en los forjados, determinado en función de la altura del paño⁵. Pero, además, el hecho de confinar la fachada de ladrillo cara vista entre los forjados exige la consideración de esta circunstancia en el análisis global de la estructura del edificio, incluyendo en los parámetros de cálculo la rigidez de los muros de fachada, puesto que ambos elementos, estructura y muro, quedan rígidamente conectados. Por otra parte, el confinamiento en los forjados implica la interrupción de las demás capas que constituyen el cerramiento, y la aparición de los indeseados *puentes térmicos*.

Este vacío legal, motivado por la falta de un análisis estructural adecuado para este tipo constructivo, puesto que la normativa anterior sólo recogía en su ámbito a los muros cargados, tuvo como consecuencia la aparición de disfunciones y procesos patológicos en las fachadas de ladrillo que nunca se habían producido en los muros de carga. Los procesos patológicos eran de índole diferente, según el requisito que resultaba deficitario en cada situación particular, pero en todos los casos se solían atribuir a la disminución del espesor de los muros, cuando en realidad ninguno de los procesos patológicos habituales en las fachadas de ladrillo (fisuración en esquinas y dinteles, caídas de petos, desprendimiento de plaquetas, etc.) constituían un síntoma de agotamiento por sobrepeso, sino todo lo contrario. Más aún si se tiene en cuenta que estos procesos aparecen prioritariamente en las plantas altas de los edificios.

A la luz de los resultados que se obtienen de un adecuado análisis estructural, aplicando los modelos y procedimientos para los muros con acción horizontal predominante que ahora vienen explícitos en el Documento Básico *Seguridad Estructural: Fábrica (en adelante DB SE-F)* del CTE, aprobado en Marzo del año 2006, se deduce que el cambio que realmente acusaron los muros de fachada cuando dejaron de ser muros de carga, no fue la disminución de espesor, sino la disminución de carga gravitatoria estabilizante.

2.1.2. Comportamiento estructural de la fachada confinada de ladrillo cara vista con angular metálico

Con el objetivo de paliar el elevado número y la naturaleza de los procesos patológicos que surgían en las fachadas convencionales de ladrillo cara vista, proliferaron en nuestro país, durante la segunda mitad del siglo pasado, algunas soluciones alternativas, en el intento de evitar las incertidumbres inherentes al proceso constructivo de las fachadas confinadas.

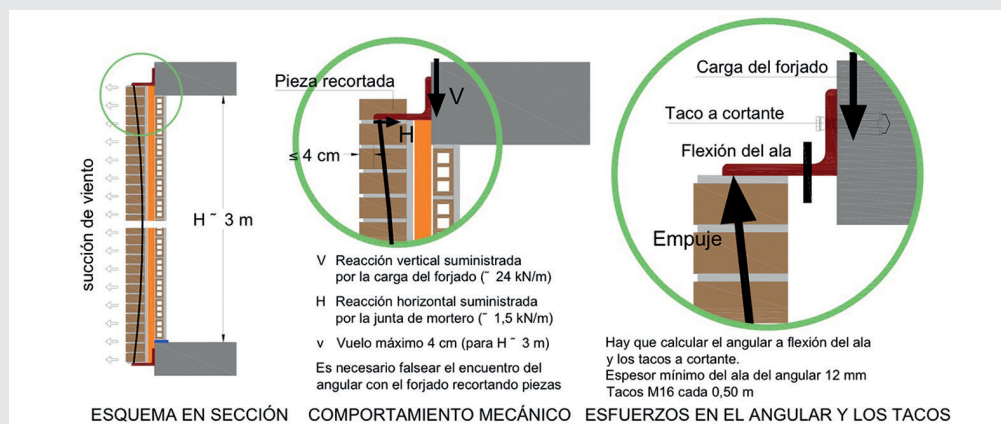


Figura 11. Fachada confinada con angular en forjados (*sistema alternativo al convencional*)

⁴ Se define como "puente térmico lineal" el puente térmico con una sección transversal uniforme a lo largo de una dirección. Hasta la entrada en vigor del CTE la única Norma Básica que afectaba a los muros de ladrillo era la Norma Básica de la Edificación FL-90, que se refería únicamente a los muros de carga, cuyas rutinas y modelos no sirven para aplicarlos a los muros de fachada.

⁵ El ancho de entrega mínimo para resistir la acción de viento es una fracción de la altura del paño, y no del espesor del muro como indicaban erróneamente algunos manuales que ya están fuera de uso. Cuando la sollicitación fundamental del muro se debe a la carga gravitatoria, la variable geométrica que interviene en el análisis es la razón entre la entrega y el espesor; sin embargo, cuando la sollicitación fundamental procede de una acción horizontal, la variable que interviene es la razón entre la entrega y la altura del muro.

La alternativa más generalizada consistía en intercalar un angular en cada frente de forjado, o cada dos plantas, entendido erróneamente como “*elemento de apoyo*”, que quedaba parcialmente embutido en el muro de ladrillo cara vista al nivel de cada planta. Esta solución permitía separar la hoja exterior de la estructura (ver la figura siguiente), aunque se usaba también con el muro entregado parcialmente en el forjado.

El resultado de este procedimiento no siempre produjo los efectos deseados, además de suponer un innecesario encarecimiento de la solución constructiva, y la aparición de otros efectos secundarios.

La razón por la cual la solución de *fachada de ladrillo cara vista confinada con angular* no eliminó de forma definitiva los procesos patológicos habituales se debe a que el recurso del angular intercalado sistemáticamente en cada planta no procedía de ningún análisis estructural (el angular se dimensionaba por razones de compatibilidad geométrica sin el menor análisis mecánico de respaldo) pero, sobre todo, porque el problema que se pretendía resolver (liberar al muro de la acción gravitatoria desviando su peso hacia los forjados) no era la verdadera causa de las disfunciones en las fachadas. El empeño en transmitir el peso de la fachada a los forjados, planta a planta, no tiene ninguna ventaja estructural para el muro de ladrillo; aparte de ser un empeño vano porque cuando hay continuidad en vertical del muro éste gravita sobre sí mismo en cualquier caso⁶.

Desde que las fachadas de ladrillo dejaron de ser muros de carga, aparte de perder la acción beneficiosa del peso de los forjados, se produjo otra circunstancia desfavorable y es que se olvidó lo que había sido tradicionalmente la *regla de oro* de los muros de fábrica “*cuanto más peso, mejor*”.

Los efectos secundarios nocivos de las soluciones de fachada de ladrillo cara vista con angular parcialmente embutido en el muro son los mismos que tiene el sistema convencional (acumulación de la carga procedente de los forjados hacia la planta de arranque, incompatibilidad de deformaciones entre el muro y el forjado, uso de piezas recortadas, posible falta de entrega del muro en el ala del angular, etc.). Pero tiene, además, otros efectos secundarios que el sistema convencional no tenía.

El principal efecto secundario, por lo aparatoso de los procesos patológicos que ocasiona, se debe al riesgo de oxidación del elemento metálico parcialmente embutido en el muro. La oxidación puede producir una merma de sección de acero en el angular, aunque este no es el fenómeno que tiene mayor trascendencia. El efecto más nocivo, por ser el más aparente, aparte de las manchas de óxido que pueden aparecer en el muro, se debe a que la oxidación es un proceso expansivo y progresivo. La reacción química de la oxidación produce un aumento de volumen del elemento que puede llegar a ser del orden de siete veces respecto del volumen original. Por el hecho de estar el angular parcialmente embutido en el muro, el simple inicio de un proceso de oxidación puede dar lugar a grietas y desprendimiento de piezas. Por ello, el DB SE-F establece la obligatoriedad de que estos elementos metálicos embutidos sean de acero inoxidable, requisito que muy pocas veces se cumple por el notable incremento del coste de la solución.

2.1.3. Comportamiento estructural de la fachada de ladrillo cara vista no confinada con junta horizontal de movimiento

También a partir de la segunda mitad del siglo pasado, y con el objetivo de evitar los problemas de incompatibilidad de deformaciones entre las fachadas de ladrillo y la estructura del edificio, surgieron otras propuestas alternativas al procedimiento convencional de confinar las fachadas entre los forjados.

La solución que se empleó para evitar la conexión rígida entre el muro de fachada y la estructura del edificio fue la de romper la continuidad en vertical del muro disponiendo juntas horizontales de movimiento. Con este tipo de soluciones, habitualmente el muro no se sustenta directamente sobre los forjados, sino que se separa de la estructura descargando en dispositivos específicos de apoyo, tales como consolas o ménsulas interpuestas entre el forjado y la hoja exterior de la fachada.

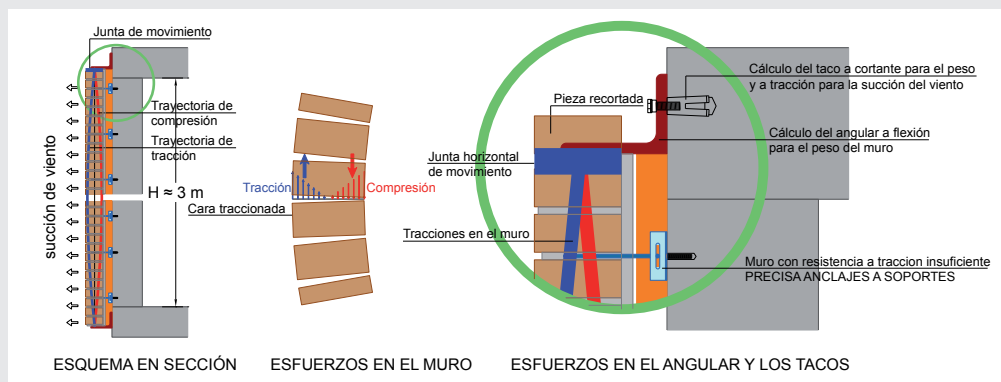


Figura 12. Fachada con junta horizontal de movimiento (*sistema alternativo a la fachada confinada*)

Estos sistemas resuelven la incompatibilidad de movimientos entre la fachada y la estructura; y habilitan, aunque sólo parcialmente, la continuidad del resto de los componentes del cerramiento, para evitar los puentes térmicos. Sin embargo, obvian la circunstancia de que un muro de ladrillo cerámico, incluso de ½ pie de espesor, tiene porte y resistencia suficientes para sostenerse a sí mismo en toda su altura, incluso para un número elevado de plantas⁷. También obvian el hecho de que para evitar la incompatibilidad de movimientos no es necesario interrumpir la continuidad del muro, puesto que es suficiente con que los elementos de conexión sean flexibles.

Por otra parte, la presencia de juntas horizontales de movimiento elimina la posibilidad de generar empujes contra los forjados y, por consiguiente, elimina también la posibilidad de resistir acciones horizontales por *efecto arco*; pero, sobre todo, deja sustancialmente mermadas las condiciones de sustentación de la fachada, al permitir el giro en la cabeza del muro, y también las

⁶ Véase el Documento Básico Seguridad Estructural “Acciones en la edificación”, artículo 2.1 “Peso propio”. En el párrafo 5 dice textualmente: “El peso de las fachadas y elementos de compartimentación pesados ... se asignará como carga a aquellos elementos que inequívocamente vayan a soportarlos ... En caso de continuidad con plantas inferiores, debe considerarse, del lado de la seguridad del elemento, que la totalidad de su peso gravita sobre sí mismo”.

⁷ La resistencia a compresión de un muro de ladrillo habitual permite resistir su propio peso hasta una altura teórica del orden de veinte plantas, siempre que esté suficientemente anclado. Si se imponen las restricciones correspondientes a la excentricidad debida al viento, y la penalización por el fenómeno de pandeo, se puede llegar a una altura real en torno a diez plantas (incluso se puede llegar hasta quince plantas si se utilizan ladrillos y morteros adecuados). Este rango de alturas abarca casi la totalidad de los edificios que utilizan el ladrillo cara vista como cerramiento de fachada.

⁸ La continuidad en los elementos solicitados a flexión equivale a una reducción de la luz de flexión del 30%, y a una reducción de los esfuerzos máximos del 50%, respecto de los elementos con la continuidad interrumpida.

condiciones de seguridad estructural al eliminar el efecto beneficioso del peso de las plantas superiores y de la continuidad⁹.

Debido a la merma en las condiciones de sustentación (por la posibilidad del giro en la cabeza de los paños) y en las condiciones de resistencia a flexión (por la falta de peso y continuidad) este tipo de soluciones requiere que el muro esté suficientemente anclado a los pilares para evitar el vuelco o el fallo del muro por flexión vertical. Si los pilares no están muy próximos, como es lo habitual, se precisa, además, una importante cuantía de armadura de tendel para resistir la flexión horizontal del muro. Se trata, por tanto, de soluciones que evitan los efectos nocivos derivados de una conexión rígida entre el muro de fachada y los forjados, pero a costa de consumir una gran cantidad de elementos auxiliares, que se podrían suprimir con el sencillo recurso de tomar en consideración el potencial que tienen los muros de fábrica para soportarse a sí mismos.

2.1.4. Conclusiones del análisis estructural de las soluciones de fachada de ladrillo cara vista anteriores

Si se aplican sistemáticamente a las distintas soluciones de fachada, tanto a la solución convencional como a las soluciones alternativas anteriores, los modelos de la normativa actual⁹ disponibles para verificar el comportamiento mecánico de los muros con acciones laterales, se puede extraer una importante conclusión de carácter general, sea cual sea el tipo constructivo que se utilice.

Esta conclusión es que la presencia de carga gravitatoria siempre tiene carácter favorable ante las acciones horizontales de los muros. En las fachadas confinadas, la carga gravitatoria de los forjados es imprescindible para *generar empujes*; y en las fachadas ancladas, la carga gravitatoria de su propio peso es beneficiosa para *contrarrestar tracciones*.

Otra conclusión que se puede extraer del análisis es que la continuidad vertical del muro, tanto geométrica como mecánica, siempre tiene un efecto favorable en su respuesta estructural. La continuidad geométrica es favorable porque permite contabilizar el propio peso del muro en toda su altura; y la continuidad mecánica es favorable porque reduce sustancialmente los esfuerzos de flexión.

El argumento de interrumpir la continuidad vertical del muro o de apoyarlo en cada planta de piso, para liberarle de su propio peso, carece de fundamento. Si se toma en consideración el peso propio de los muros de fábrica de ladrillo cara vista (a razón de 24 kN/m³, los más pesados, incorporando el coeficiente de seguridad) y su capacidad resistente a compresión (a razón de 1,6 N/mm², en el peor de los casos, incorporando la minoración de resistencia del material), una simple operación aritmética permite deducir que las fachadas habituales de los edificios que utilizan el ladrillo cara vista como material de acabado, si están suficientemente ancladas, pueden soportar sin necesidad de hacer números hasta 25 plantas. Contando que la penalización por pandeo y la excentricidad debida al viento reduce a la mitad su capacidad resistente (en el peor de los casos) la conclusión es que no precisan ningún dispositivo auxiliar de descarga, ni tampoco interrumpir su continuidad con juntas horizontales, a menos que tengan más de 10 o 15 plantas, según los casos.

Estas importantes conclusiones y una mirada hacia atrás, recuperando la forma de concebir los muros de ladrillo que tenían nuestros mayores, son razones suficientes para reconsiderar el procedimiento de resolver las fachadas de ladrillo de los edificios modernos.

Por una parte cabe pensar que, si el cerramiento de fachada se concibe como una piel envolvente del edificio, es una contradicción encastrarla en su estructura, porque tarde o temprano acabará participando de su comportamiento mecánico. Por otra parte, si la piel envolvente está constituida por un *material pétreo* con suficiente porte, es un dislate intentar suspenderlo como si de una cortina se tratase, por muy sofisticado o ingenioso que sea el artificio que se utilice para ello. Y, por último, si el material utilizado para la fachada tiene capacidad resistente para transmitir incluso carga ajena, no hay ninguna razón para rehuir su propio peso intentando disiparlo en cada planta del edificio con difíciles detalles de encuentro o costosos aparatos de apoyo.

Las soluciones más sencillas constructivamente y más seguras desde el punto de vista del análisis estructural, son aquellas en las que el peso propio del cerramiento se transmite sin interrupción de continuidad a la planta de arranque. El recurso más rentable de los que aparecen en el DB SE-F para evaluar la respuesta mecánica de los muros de fachada es la incorporación de la carga gravitatoria en el análisis. Es importante destacar que el hecho de conseguir que, al menos el propio peso del muro de fachada grave sobre sí mismo en toda su altura, no supone ningún coste adicional ni requiere ninguna complejidad constructiva de la solución.

Todas estas razones justifican el interés que los fabricantes de ladrillo asociados a la Sección de Ladrillos *Cara Vista* de HISPALYT, comprometidos con la tarea de ofrecer propuestas adecuadas para los productos que fabrican, han mostrado por impulsar el tipo constructivo de "*fachada autoportante*".

⁹ En particular, los modelos de análisis para verificar la respuesta de las fachadas ante acciones horizontales, los cuales se han reproducido parcialmente en este artículo, están explícitos en el apartado 5.4 del DB SE-F.

2.2. Comportamiento estructural y ventajas de la fachada autoportante de ladrillo cara vista

El tipo constructivo de *fachada autoportante* se caracteriza, esencialmente, por la posición del muro de fábrica de albañilería que constituye la hoja exterior del cerramiento de fachada, que se dispone separado de la estructura del edificio, gravitando sobre sí mismo en toda la altura que permite el cálculo estructural. De esta forma, el muro de fábrica de albañilería es el principal elemento estructural soporte de sí mismo.

La diferencia más significativa de la *fachada autoportante* con el resto de las soluciones al uso para fachadas de fábrica de albañilería se fundamenta en el aprovechamiento del potencial estructural que tienen los materiales "pétreos" cuando trabajan a compresión.

El sistema convencional que se ha venido usando para construir las fachadas de ladrillo, cuya estabilidad se consigue por confinamiento en los forjados, así como los sistemas que utilizan dispositivos específicos de apoyo (tales como angulares, ménsulas o consolas) para el sostén de la fachada en cada planta del edificio, tienen en común la concepción del muro de fábrica de albañilería como un elemento inerte, es decir, como un "*peso muerto*" que es necesario sostener y transmitir a la estructura portante del edificio a intervalos relativamente pequeños. Por el contrario, el sistema de *fachada autoportante* se fundamenta en la concepción del propio muro de fábrica como un elemento activo y esencial en el comportamiento mecánico, siendo el principal elemento soporte de sí mismo, lo cual es posible incluso en fachadas en altura con un número considerable de plantas.

Este cambio en la concepción del muro de fachada hace posible recuperar el potencial estructural que tradicionalmente se ha asignado a los muros de fábrica de albañilería, como elementos esenciales de la estructura portante de los edificios y, a la vez, eliminar innecesarios y costosos aparatos de apoyo, lo que reduce notablemente el coste y la complejidad constructiva de la solución.

Las ventajas que supone esta concepción del muro de fachada, como elemento activo en el comportamiento mecánico, se complementan con las ventajas de índole constructiva, puesto que no se precisa ningún tipo de pieza especial ni aparato de apoyo al paso de la fachada por los forjados; y con las ventajas de índole funcional, principalmente las que se refieren a su comportamiento higrotérmico.

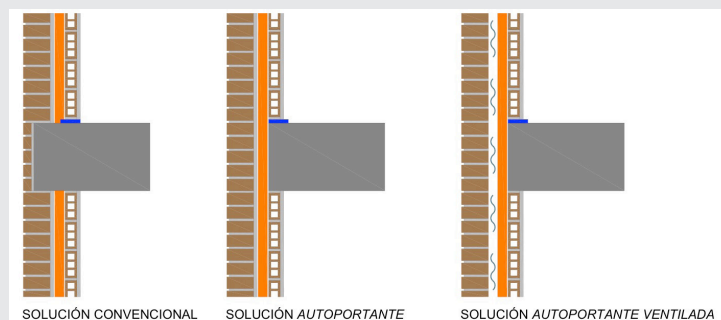


Figura 13. Tipos constructivos de las fachadas de ladrillo cara vista

La solución de *fachada autoportante* aplicada al caso de fábrica de ladrillo cara vista no requiere la disposición de plaquetas cerámicas ni piezas especiales de chapado en los frentes de forjados o soportes. La eliminación de las plaquetas es importante no sólo desde el punto de vista de simplificar el proceso de construcción del muro, sino también desde el punto de vista de la seguridad estructural y del aspecto estético.

La disposición de plaquetas cerámicas supone un estrangulamiento del muro, precisa-mente en los puntos de encuentro con la estructura, donde se producen las reacciones necesarias para el equilibrio. El espesor viable para las plaquetas tiene un margen muy estricto, sobre todo cuando se utilizan piezas cerámicas de 1/2 pie con formato castellano. Si el espesor de la plaqueta es pequeño (menor de 3 cm) peligra su estabilidad, pero si el espesor de la plaqueta es excesivo (superior a 5 cm) peligra la estabilidad del muro, puesto que ello supone un ancho de entrega inferior al requerido según el análisis estructural.

Desde el punto de vista estético, el canto de los forjados, que es la zona donde están colocadas las plaquetas casi siempre se manifiesta al exterior. El aspecto de las piezas cerámicas evoluciona con el paso del tiempo por la influencia de la humedad. Las plaquetas cerámicas, por ser piezas de pequeño espesor, evolucionan de distinta forma que el resto de piezas de ladrillo. Aun suponiendo que la ejecución de las zonas con plaquetas fuera perfecta, con el paso del tiempo adquieren un tono diferente al resto de la fachada, por lo que el encuentro con los forjados se hace visible desde el exterior.

Desde el punto de vista de los aspectos funcionales de la fachada, sobre todo en lo que se refiere al comportamiento higrotérmico y acústico, son todavía más significativas las ventajas de

la solución de *fachada autoportante*. La continuidad del muro en toda su altura, que caracteriza a la *fachada autoportante*, habilita la posibilidad de mantener la misma continuidad en el resto de los elementos constructivos que constituyen el cerramiento, como por ejemplo, el aislamiento térmico, la cámara de aire o cualquier barrera interpuesta entre la fachada y el edificio, evitando de esta forma los indeseados puentes térmicos, acústicos o de humedad.

Por todas estas razones y ante el nuevo escenario que supone el incremento de las exigencias en materia de eficiencia energética, la *fachada autoportante* de ladrillo cara vista, tanto en su versión *estanca* como en su versión *ventilada*, constituye el tipo constructivo promocionado por la *Sección de Ladrillos Cara Vista* de Hispalyt bajo la marca **STRUCTURA**, con el objetivo de promover la innovación, calidad y prestaciones en las fachadas de ladrillo cara vista.

Este tipo constructivo se lleva ejecutando desde hace más de una década, incluso cuando las exigencias relacionadas con la eficiencia energética de los edificios no eran tan rigurosas. Con la entrada en vigor de la nueva edición del DB HE, las ventajas derivadas de la eliminación de puentes térmicos se añaden a las ventajas de índole mecánico de las *fachadas autoportantes*, amparadas bajo la marca **STRUCTURA** y resueltas hasta los últimos detalles por el *Sistema G.H.A.S.®* creado y comercializado por Geohidrol, S.A.

3. STRUCTURA: FACHADAS AUTOPORTANTES DE LADRILLO CARA VISTA CON SISTEMA G.H.A.S.

3.1. Origen del sistema G.H.A.S.®

Los cerramientos de fachada, sea cual sea el tipo constructivo al que pertenezcan, tienen encomendados determinados requisitos para cumplir una buena parte de las prestaciones que el CTE exige a los edificios. Para conseguir algunos de estos requisitos se necesitan recursos auxiliares, así como procedimientos adecuados de puesta en obra y control de ejecución.

El *Sistema G.H.A.S.®* surgió en el intento de afrontar dos retos importantes que estaban pendientes de resolver en la unidad constructiva de los cerramientos de fachada de los edificios modernos, desde que se abandonaron los muros de carga como elementos estructurales, y se impuso la construcción de edificios con estructura porticada.

El primer reto y fundamental era garantizar la estabilidad y resistencia de la hoja exterior de los cerramientos de fachada y evitar el riesgo de fisuración, ante la acción más agresiva que tienen estos elementos, que es la acción horizontal de viento. El *Sistema G.H.A.S.®* se gestó casi simultáneamente y al amparo del CTE y de sus respectivos Documentos Básicos, en los que, por primera vez en la normativa de obligado cumplimiento en nuestro país, se toma conciencia de que las fachadas de los edificios son objeto de análisis y cálculo estructural, además de ser elementos implicados en numerosas prestaciones que se exigen a los edificios.

El segundo reto, y no menos importante, era eliminar las incertidumbres inherentes al proceso de construcción de los muros de fachada. La fachadas son extraordinariamente sensibles a las condiciones geométricas y de puesta en obra; y sin embargo, paradójicamente, una vez ejecutado el muro, estas condiciones son imposibles de verificar; sólo se manifiestan deficitarias cuando ocurre algún percance y hay que intervenir. En este sentido el *Sistema G.H.A.S.®* ha evolucionado con productos novedosos y exclusivos para ofrecer un resultado de la obra terminada garantizado al cien por cien, con posibilidad de realizar un control exhaustivo de la puesta en obra de todos sus elementos, con posterioridad a la ejecución del muro.

El *Sistema G.H.A.S.®* se puede aplicar a cualquier tipo constructivo de cerramiento de fachada, puesto que se fundamenta esencialmente en que la solución de proyecto, así como la cuantía y disposición de los elementos auxiliares, proceden siempre de un análisis estructural particularizado para cada situación. No obstante, el tipo que resulta más eficaz, tanto desde el punto de vista del comportamiento mecánico, como desde el punto de vista de la eficiencia energética, es el tipo de *fachada autoportante*, por las razones expuestas anteriormente.

El cambio en la filosofía e incremento de exigencias que ha supuesto la nueva edición del DB HE aprobada recientemente, ha tenido como consecuencia un significativo aumento en la demanda del *Sistema G.H.A.S.®* aplicado al tipo constructivo de *fachada autoportante* con ladrillo cara vista, debido a que el proceso constructivo habilita la posibilidad de dar continuidad al aislamiento en toda la altura de la fachada y permite dotar de ventilación a la cámara de aire, con el consiguiente aumento de las prestaciones higrotérmicas que ello conlleva.

El *Sistema G.H.A.S.®* aplicado a la solución de *fachada autoportante*, no precisa dispositivos de apoyo para canalizar el peso del muro a los forjados de cada planta del edificio, puesto que utiliza el propio muro como soporte de sí mismo.

Los únicos elementos auxiliares que se requieren son los necesarios para canalizar las acciones horizontales a la estructura del edificio. Estos elementos auxiliares consisten en anclajes de retención que se fijan a los frentes de forjados y pilares, y armaduras de tendel, que incrementan la resistencia a flexión horizontal del muro, permitiendo que la separación entre puntos de anclaje sea del mismo orden que la luz entre pilares, y liberando así a la hoja interior del cerramiento de cualquier cometido relacionado con la estabilidad.

3.2. El sistema G.H.A.S.® y la marca STRUCTURA

El primer sistema de *fachada autoportante* desarrollado en España fue el *sistema G.H.A.S.®* (Geo-Hidrol Advanced System) de la empresa Geohidrol, desarrollado hace más de 10 años para evitar las patologías de tipo estructural que aparecían en algunas fachadas convencionales o confinadas entre forjados. Este sistema es válido para todo tipo de fábricas de albañilería: de ladrillo cara vista, de ladrillo para revestir, de bloque cerámico, de bloque de hormigón, etc.

La marca **STRUCTURA** se creó hace casi una década, para promocionar el tipo constructivo de *fachada autoportante* de ladrillo cara vista. Este tipo constructivo es el resultado de una investigación llevada a cabo por los fabricantes de la Sección de ladrillo cara vista de HISPALYT en estrecha colaboración con el Departamento Técnico de GEOHIDROL, S.A., empresa líder en la investigación, fabricación y comercialización de sistemas para fachadas de muros de fábrica. Esta solución se desarrolló con el objeto de optimizar el uso del ladrillo cara vista y afrontar el reto que suponía para las fachadas de ladrillo cara vista el cambio normativo que supuso la entrada en vigor del CTE, aun cuando las prestaciones higrotérmicas que se establecían en ese momento para los edificios, no eran tan exigentes como las que están actualmente en vigor.

La *fachada autoportante* de ladrillo cara vista es el resultado de una profunda reflexión sobre las diferentes soluciones de fachada de ladrillo que se han utilizado a lo largo de la historia. Cuando se analizaron todos los tipos constructivos bajo la óptica de las exigencias del CTE, el tipo constructivo de *fachada autoportante* se decantó como la solución óptima por su extraordinaria simplicidad constructiva, sus elevadas prestaciones mecánicas e higrotérmicas y el bajo coste en recursos auxiliares.

En resumen, para promover su utilización, los fabricantes de ladrillo cara vista asociados a Hispalyt crearon también hace más de 10 años la marca **Structura**, para denominar a las *fachadas autoportantes de ladrillo cara vista con sistema G.H.A.S.®* de Geohidrol.



Figura 14. Sistema G.H.A.S.® (Geo-Hidrol Advanced Systems)



Figura 15. Imagen corporativa y descriptiva de la marca STRUCTURA

Aunque hay en el mercado otros sistemas de *fachada autoportante* para fábricas de albañilería, el único sistema constructivo reconocido por la marca **Structura** es el *sistema G.H.A.S.®* de Geohidrol, y esto es debido fundamentalmente a las altas prestaciones técnicas de sus productos, garantizadas por el marcado CE y el D.A.U. (Documento de Adecuación al Uso) y por los servicios técnicos ofrecidos, como cálculo estructural según CTE gratuito y sin compromiso.

3.3 Características del Sistema G.H.A.S.® aplicado a las fachadas de ladrillo cara vista

El *Sistema G.H.A.S.®* aplicado a la *fachada autoportante* de ladrillo cara vista se caracteriza porque el principal elemento de sustentación lo constituye el propio muro de ladrillo. La estabilidad y resistencia frente a las acciones horizontales se resuelven con anclajes de retención y armadura de tendel.

La solución constructiva consiste en separar la hoja exterior del cerramiento de la estructura del edificio, transmitiendo su peso a la planta de arranque por compresión de la fábrica, y contribuyendo de esta forma a la resistencia frente a las acciones horizontales.

El esquema de la solución constructiva del *Sistema G.H.A.S.®* en planta, alzado y sección se puede ver en la figura siguiente.

Con esta disposición constructiva de la hoja exterior del cerramiento de fachada se consiguen tres objetivos fundamentales:

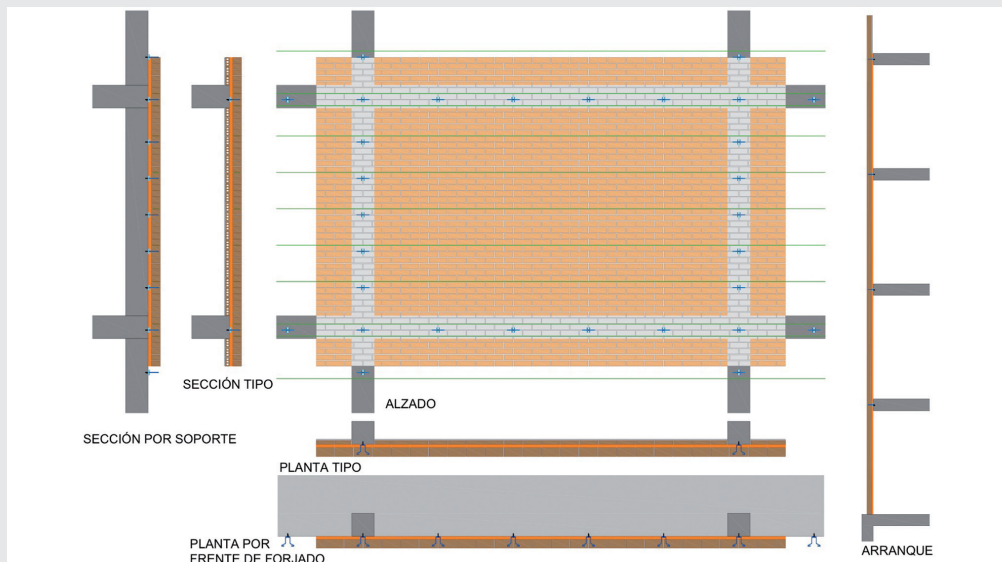


Figura 16. Descripción del Sistema G.H.A.S.®

1. Utilizar el efecto beneficioso del peso de la fachada en el análisis frente a las acciones horizontales.
2. Mejorar el comportamiento higrotérmico del cerramiento, eliminando los puentes térmicos y el riesgo de condensación superficial.
3. Evitar el conflicto constructivo que supone el confinamiento de la fachada entre los elementos estructurales del edificio, independizando la fachada de la estructura del edificio, permitiendo los movimientos de la fábrica en su propio plano, pero nunca en el plano de la acción del viento

La consecución de estos tres objetivos fundamentales definen las principales características del *sistema G.H.A.S.®* aplicado a las *fachadas autoportantes* de ladrillo cara vista.

3.3.1. Características estructurales

La continuidad constructiva de la hoja exterior del cerramiento, en toda la altura que permite el cálculo, es la característica principal de las relacionadas con la respuesta mecánica del *Sistema G.H.A.S.®*. Esta circunstancia implica la continuidad de la acción gravitatoria debida al propio peso de la fachada, lo que produce como resultado que el muro trabaje en buena medida solicitado a compresión, contribuyendo de este modo a mejorar su comportamiento mecánico. El contrarresto de las acciones horizontales se consigue en la misma medida en que se incrementa la acción gravitatoria, reduciéndose el coste en dispositivos auxiliares y el riesgo de fisuración del muro.

El modelo estructural de referencia para el análisis de una *fachada autoportante* con el *Sistema G.H.A.S.®* es el *modelo placa* (que supone flexión en dos direcciones), con bordes en continuidad, que es el modelo más rentable de los sancionados por el DB SE-F del CTE, para el análisis de muros con acciones horizontales.

Los dispositivos de anclaje a pilares y forjados suministran la reacción necesaria en las sustentaciones para la estabilidad frente a las acciones horizontales. La reacción selectiva que suministran los anclajes permite el control de todos los movimientos y esfuerzos del muro, lo que se traduce en la posibilidad de realizar un análisis y dimensionado estricto, optimizando así el coste de la solución.

3.3.2. Características funcionales

La principal característica de índole funcional del *Sistema G.H.A.S.®* aplicado a las *fachadas autoportantes* está relacionada con el comportamiento higrotérmico del cerramiento. La construcción de la hoja exterior del muro de fachada separado de la estructura del edificio elimina el puente térmico en los frentes de forjados y pilares, debido a que se puede dar continuidad al aislamiento sin comprometer la estabilidad de la fachada.

La eliminación de puentes térmicos supone un ahorro en el aislamiento, aunque la principal ventaja de esta circunstancia es que puede tener una gran trascendencia, en función de la zona climática y las condiciones de contorno del edificio, para el cálculo de la demanda energética y el riesgo de condensaciones.

Si las exigencias de impermeabilidad lo aconsejan, el *Sistema G.H.A.S.®* permite la disposición de una cámara de aire ventilada, consiguiendo una fachada que participa de las principales ventajas de las fachadas ventiladas y de otras adicionales (como durabilidad, bajo mantenimiento, calidad estética, etc.) en virtud de tener materiales de acabado tradicionales, tales como el ladrillo cara vista.

3.3.3. Características constructivas

La principal característica constructiva del *Sistema G.H.A.S.®* aplicado a las *fachadas autoportantes* de ladrillo es la eliminación del conflicto que supone el encuentro de la hoja exterior de cerramiento con los elementos estructurales del edificio.

La hoja exterior de la fachada se construye sin interrumpir su continuidad y, por consiguiente el espesor del muro no se estrangula al paso por los forjados o pilares. Su posición respecto de la estructura del edificio es tangente a la tabica exterior de los forjados, por lo que no se precisan plaquetas de revestimiento del frente de los mismos, ni cortes o piezas especiales para ajustar el replanteo de las hiladas a la altura de cada planta o al canto del forjado. Además, se puede conseguir un perfecto plomo y planeidad, con independencia de las desviaciones geométricas de la estructura.

La condición de entrega en los forjados que requieren las soluciones de *fachada confinada*, se sustituye en la solución *autoportante del Sistema G.H.A.S.®* por la condición de entrega de los dispositivos de anclaje, que poseen una geometría específica para su inspección. Este procedimiento de conexión evita que los pilares y forjados se acusen por el exterior.

3.4. Elementos del Sistema G.H.A.S.®

En el cálculo de muros con el Sistema G.H.A.S.® todos los elementos tienen asignada una prestación estructural para suministrar la respuesta mecánica adecuada frente a las acciones a las que están sometidos; no sólo los elementos auxiliares específicos del sistema, sino también el propio muro de fábrica como elemento activo fundamental en el comportamiento mecánico.

El modelo de referencia para analizar la respuesta mecánica de las *fachadas autoportantes* con el Sistema G.H.A.S.® es el *modelo placa* anclada en los bordes. Ello requiere utilizar en el cálculo la resistencia a flexión del muro, por una parte; y, por otra, la reacción horizontal suministrada por los dispositivos de anclaje a la estructura.

Los muros de fábrica son excelentes elementos estructurales trabajando a compresión, por lo que la resistencia mecánica que precisa un paño de *fachada autoportante* para resistir la acción gravitatoria debida a su propio peso es suministrada por el propio muro con un margen de seguridad muy amplio, incluso para fachadas con un elevado número de plantas.

Sin embargo, la respuesta de los muros de fábrica frente a solicitaciones de flexión es muy escasa debido a su capacidad limitada para resistir tracciones.

La resistencia a flexión que necesita un paño de *fachada autoportante* de ladrillo para resistir la acción de viento se consigue por dos vías, con los recursos para cada una de ellas que se indican a continuación:

1. Resistencia a flexión vertical (*rotura por tendeles*): el recurso fundamental para incrementar la resistencia a flexión por tendeles es la incorporación de carga gravitatoria. El incremento de resistencia es proporcional a la carga gravitatoria incorporada.
2. Resistencia a flexión horizontal (*rotura perpendicular a los tendeles*): el recurso habitualmente utilizado para incrementar la resistencia de los muros de fábrica en el plano horizontal es la incorporación de armadura de tendel, que suministra la resistencia a tracción de la que el muro es deficitaria, de la misma manera que se hace en la técnica del hormigón armado.

La reacción horizontal necesaria para equilibrar las acciones horizontales, evitando el vuelco del muro, se consigue mediante dispositivos de anclaje a los elementos estructurales. Estos dispositivos deben tener un diseño específico para poder suministrar una reacción de carácter selectivo, permitiendo determinados movimientos y evitando otros. Para evitar el trasvase de carga de los forjados al muro de fachada, los anclajes deben tener libertad de movimiento vertical. Para evitar coacciones a movimientos típicos de los muros de fábrica en su plano, tales como son los derivados de la retracción o de la expansión por humedad, los anclajes deben tener libertad de movimiento horizontal contenido en el plano del muro. Y para evitar el vuelco, los anclajes deben tener eficazmente impedido el movimiento horizontal perpendicular al plano del muro.

La prestación estructural exigida a los dispositivos de anclaje es la capacidad resistente para resistir esfuerzos de tracción y compresión, con objeto de evitar el vuelco del muro ante la succión y la presión de viento, respectivamente. La prestación que se requiere de los anclajes para este cometido es muy exigente, debiéndose garantizar mediante ensayos, no sólo que los anclajes resisten sin romperse, sino que lo hacen en una condiciones de movimiento muy estrictas.

La cuantía y distribución de los elementos auxiliares del Sistema G.H.A.S.® (armadura de tendel y dispositivos de anclaje) se determinan mediante el análisis estructural correspondiente con los procedimientos explícitos en el DB SE-F. Debido a que estos elementos tienen asignada una misión estructural, decisiva para las condiciones de resistencia y estabilidad de los muros de fábrica, es imprescindible tener la absoluta garantía de su comportamiento mecánico. Esto supone, por una parte, conocer con certeza la prestación estructural de los elementos utilizados y, por otra parte, no menos importante, poder asegurar una correcta puesta en obra.

El Sistema G.H.A.S.® es el único sistema existente en el mercado que dispone de los elementos necesarios para el proyecto y la ejecución de fachadas autoportantes, con los dos requisitos anteriormente citados: **garantía de prestación y garantía de puesta en obra.**

Estos dos requisitos, imprescindibles para poder garantizar responsablemente cualquier sistema constructivo, han posibilitado la obtención de un Documento de Autorización al Uso ¹⁰ (DAU 12/076), lo que constituye un respaldo adicional para el proyectista, constructor o promotor que decida incorporar en su edificio la solución constructiva de *fachada autoportante* de ladrillo cara vista que aquí se analiza.

3.4.1. Anclajes GEOANC®

Los dispositivos de anclaje de retención son necesarios, incluso en las fachadas convencionales confinadas entre forjados cuando las condiciones de entrega son deficitarias. En las *fachadas autoportantes* estos elementos son imprescindibles para suministrar la reacción correspondiente a las acciones horizontales, evitando el vuelco del muro. Además, cuando se utiliza el tipo constructivo de *fachada autoportante*, los anclajes tienen una doble misión, puesto que limitan la esbeltez de los paños frente al fenómeno del pandeo, para que no llegue a ser éste un aspecto restrictivo en los edificios de altura.

Los anclajes deben conectar la hoja exterior a los elementos estructurales previstos para resistir y transmitir las acciones horizontales hasta la cimentación. Se pueden fijar, por consiguiente, a pilares, a frentes de forjado o a un muro perimetral exterior.

Para poder analizar rigurosamente una *fachada autoportante* es fundamental que no exista incertidumbre acerca del valor de la carga gravitatoria asignado a la fachada. El muro de fachada debe tener exclusivamente la carga que corresponde a su propio peso, cuyo principal efecto beneficioso se debe a que actúa absolutamente centrada en el muro, contribuyendo así a su estabilidad. Por ello, se debe evitar el efecto de trasvase de carga de los forjados al muro a través de los dispositivos de anclaje, que constituyen el único punto de contacto entre ambos elementos.

El trasvase de carga de los forjados al muro de fachada se evita impidiendo la posibilidad de desarrollar reacción vertical en los puntos de conexión. En este sentido, el diseño de los dispositivos de retención debe permitir libertad de movimiento en dirección vertical, para anular así esta componente de la reacción. Es conveniente, además, dotar a los anclajes de la posibilidad de movimiento horizontal en el plano del muro, evitando únicamente el movimiento de vuelco ¹¹. De esta forma, además de controlar el valor de la carga gravitatoria de la fachada, se impide el riesgo de acumulación de tensiones por coacción a movimientos horizontales, como pueden ser los debidos a la expansión por humedad.

La prestación estructural de los anclajes (respuesta mecánica a tracción y compresión) se consigue en virtud de las propiedades del acero que los constituyen; pero su capacidad de retención está también íntimamente relacionada con la penetración de la *garra* del anclaje en el espesor del muro, puesto que la totalidad de los esfuerzos se deben transmitir por adherencia con el mortero. Esta prestación se garantiza mediante ensayos y debe ser declarada por el fabricante en el reglamentario *Marcado CE*. Por consiguiente, la determinación de las cuantías a utilizar en cada caso se puede realizar, sin dificultad a nivel de proyecto, con una simple operación aritmética.

Sin embargo, conviene volver a insistir en la necesidad de reproducir en obra las mismas condiciones que las utilizadas en los ensayos, si se desea garantizar la prestación exigida al muro ejecutado. Para poder garantizar el cumplimiento y control de estos aspectos, los anclajes GEOANC® tienen una singular forma geométrica que facilita una correcta ubicación de la garra en el muro y, lo que es más importante, que permite la supervisión de su cuantía y su adecuada disposición incluso con posterioridad a la fase de ejecución de la unidad constructiva, de manera que la prestación declarada queda garantizada en todos los casos.



Figura 17. Anclaje de retención GEOANC®

Desde el punto de vista de la durabilidad, los dispositivos de anclaje son elementos sometidos en cierta medida al ambiente exterior, y de imposible mantenimiento. Por ello, deben tener la protección adecuada a la clase de exposición correspondiente a la fachada en la que se ubican. Para cumplir las condiciones de durabilidad en todos los casos, los anclajes GEOANC® son de acero inoxidable austenítico.

3.4.2. Armadura de tendel GEOFOR®

La empresa Geohidrol S.A. garantiza la solución de *fachada autoportante* de ladrillo cara vista, incluida en las soluciones con el Sistema G.H.A.S.®, incorporando, como recurso fundamental en el comportamiento mecánico del muro, la prestación estructural atribuida a la armadura de tendel GEOFOR®.

¹⁰ El DAU que desarrolla y ampara el Sistema G.H.A.S. se puede descargar gratuitamente de la página web del ITEC.

¹¹ A los dispositivos de anclaje que tienen libertad de movimiento en alguna dirección se les suele llamar anclajes flexibles.

Con carácter general, la presencia de armadura de tendel en los muros de fábrica incrementa su respuesta mecánica ante determinado tipo de esfuerzos.

Entre otras propiedades de los muros armados, el DB SE-F reconoce un aumento de su resistencia a flexión directamente proporcional a la sección y resistencia de la armadura y a su ancho eficaz. Pero estas atribuciones sólo son ciertas si la armadura está realmente incorporada en el muro y, además, colocada y solapada correctamente, de manera que pueda existir una eficaz transmisión de esfuerzos entre armaduras contiguas.

Es importante indicar aquí que, en las armaduras que tienen configuración de estructura cerchada, la transmisión de esfuerzos a lo largo del intervalo triangulado se realiza a través de los propios alambres, de la misma manera ocurre en las cerchas, siempre y cuando se garantice una eficaz conexión de las armaduras mediante la soldadura en los nudos. Sin embargo, en las zonas de extremo, a partir de la última triangulación, la celosía no tiene respuesta mecánica como tal; y la transmisión de esfuerzos entre una pieza de armadura y la pieza contigua sólo se puede producir por adherencia con el mortero.

Por esta razón, las condiciones de extremo de las armaduras son especialmente importantes cuando éstas tienen asignada una prestación estructural; pero, sin embargo, son las condiciones más difíciles de conseguir en la puesta en obra de los muros armados.

La transmisión de esfuerzos a través de armaduras contiguas, imprescindible para su función estructural, precisa tres condiciones esenciales en la zona de los extremos: **recubrimiento, adherencia y longitud de solape**.

- El **recubrimiento** de mortero es importante y obligatorio en toda la longitud de la armadura para conseguir la protección necesaria frente al riesgo de corrosión; pero en las zonas de los extremos, a partir del último nudo, es imprescindible para habilitar la transmisión de esfuerzos por adherencia.
- La **adherencia** de las armaduras con el mortero es un requisito fácil de obtener si se respetan las prescripciones de recubrimiento establecidas, puesto que las armaduras de tendel tienen un diámetro relativamente pequeño. De hecho, la normativa sólo exige que se garantice, mediante ensayos, el valor de este parámetro en los extremos de las piezas, por lo que se trata de una prestación declarada en el reglamentario *Marcado CE*, con la que se compromete el fabricante, y que el proyectista puede utilizar en la fase de proyecto sin necesidad de más comprobaciones.

Sin embargo, para que la respuesta mecánica del muro sea la que se ha previsto en proyecto, es fundamental que las condiciones de puesta en obra de la armadura reproduzcan lo más fielmente posible las condiciones de ensayo. El ensayo de adherencia se realiza con una sola armadura ubicada en el muro, en unas buenas condiciones de recubrimiento lateral; sin embargo, en las zonas de solape, existen dos armaduras superpuestas, lo que compromete el recubrimiento lateral adecuado para la transmisión de esfuerzos que se precisa. Por esta razón la normativa exige, además de declarar el valor de la fuerza transmitida por adherencia en los extremos, que exista una distancia lateral mínima de 20 mm entre armaduras solapadas.

Las armaduras que mantienen constante su geometría en las zonas de extremo, no pueden superar un ancho que es, como máximo, igual al ancho del muro disminuido en 50 mm para permitir el adecuado recubrimiento lateral en las zonas de solape. Si se desea incorporar en el muro una armadura con el ancho óptimo desde el punto de vista de su respuesta mecánica (que es el mayor posible, respetando los recubrimientos a los bordes), es necesario utilizar una armadura con la geometría de extremo modificada para poder respetar, simultáneamente, las condiciones de recubrimiento lateral entre armaduras solapadas.

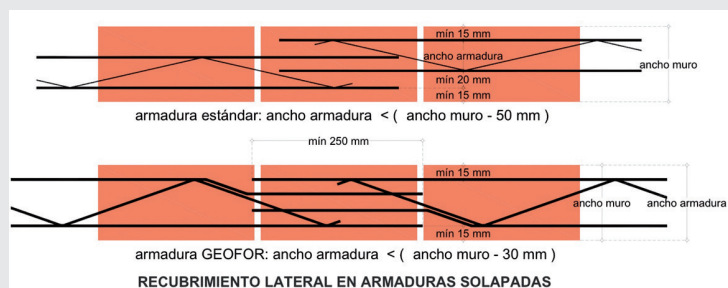


Figura 18. Condiciones de recubrimiento de la armadura estándar y de la armadura GEOFOR®

- La **longitud de solape** es otra condición de extremo que se exige a la armadura, con el mismo objetivo de reproducir en el muro ejecutado unas condiciones similares a las utilizadas en el ensayo de adherencia. La longitud de solape es la longitud mínima que precisan las armaduras para desarrollar, por adherencia, el valor de la fuerza declara-

da. Una merma en la longitud de solape supone una merma, en la misma proporción, de la capacidad resistente atribuida a la armadura.

Las condiciones anteriores ponen de manifiesto que los extremos de las armaduras constituyen las zonas más delicadas, en las que es imprescindible que concurren los requisitos más importantes para la prestación estructural de la armadura de tendel. Pero además, para poder garantizar un adecuado comportamiento del muro ejecutado, no es suficiente prescribir estos requisitos en la fase de proyecto, sino que es fundamental facilitar su cumplimiento por parte del operario y, sobre todo, que exista la posibilidad de realizar un control de ejecución incluso una vez que la unidad de obra está terminada.

Las armaduras que se comercializan actualmente mantienen su geometría constante en toda la longitud de la pieza, lo cual dificulta la operación de solape puesto que requiere cortar y manipular los alambres, razón por la cual cabe una duda razonable de que esta operación se realice correctamente en todos los casos. Pero el mayor problema que estaba pendiente de resolver desde los inicios de la técnica de la fábrica armada es la imposibilidad de supervisar, tanto la cuantía de armadura, como su ubicación y correcto solape una vez que el muro ha sido ejecutado. Esta circunstancia deja con serias incertidumbres al director de obra a la hora de poder garantizar un adecuado comportamiento mecánico del muro armado, aunque utilice en la fase de proyecto un correcto análisis con las prestaciones declaradas y garantizadas por los fabricantes.

En este escenario, en el que la armadura de tendel se utiliza cada vez con mayor profusión en los muros de fábrica, pero con dudas y dificultades relacionadas con el control de la obra ejecutada, la sección I + D de la empresa Geohidrol S.A., comprometida con la responsabilidad de los técnicos que confían en sus propuestas, y conociendo la extraordinaria importancia que tiene la correcta puesta en obra de sus productos, ha desarrollado la nueva gama de armaduras de tendel **GEOFOR®**, con la geometría modificada para la función que se le asigna, y provistas de testigos que permiten un control exhaustivo de la puesta en obra mediante una simple inspección visual, con posterioridad a la ejecución del muro.

La innovadora armadura **GEOFOR®**, además de tener disponible el reglamentario *Marcado CE*, de acuerdo con las especificaciones de la Norma EN 845-3, cuenta con las siguientes características fundamentales que la diferencian del resto de las armaduras existentes en el mercado.

- Separadores incorporados

GEOFOR® incorpora en sus alambres unos separadores plásticos con geometría cilíndrica, cuya función es garantizar los recubrimientos mínimos de mortero y facilitar su correcta puesta en obra. La armadura **GEOFOR®** provista de separadores se puede colocar en el muro antes de echar el mortero, evitando el contacto directo del acero con los ladrillos.



Figura 19. Separadores incorporados en la armadura GEOFOR®

- Extremos con forma de enchufe "PLUG"

GEOFOR® tiene un innovador diseño que facilita la realización del solape entre armaduras sin necesidad de manipulación por parte del operario, manteniendo en la zona de solape el mismo ancho nominal que tiene la armadura en toda su longitud. Los extremos de las armaduras **GEOFOR®** tienen una configuración geométrica en forma de enchufe "plug" que permite realizar el solape mínimo (establecido en 250 mm) sin necesidad de cortar ningún alambre. Asimismo, el alambre transversal en la zona de extremo queda rebajado para poder garantizar los recubrimientos mínimos de mortero.

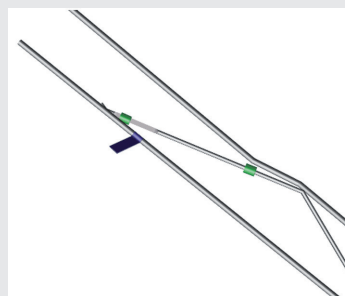


Figura 20. Armadura GEOFOR® con la geometría modificada en el extremo

- Dispositivos SAO (Sistema de Autocontrol del Operario)

GEOFOR® está provista de testigos colocados en ambos extremos de las piezas, que permiten comprobar visualmente, con posterioridad a la fase de ejecución, que las

cuantías de armadura del muro se corresponden con utilizadas en el análisis; y que las longitudes de entrega en dinteles de huecos, o de solape entre armaduras contiguas se corresponden con las especificaciones de proyecto.



Figura 21. Dispositivos de control incorporados en la armadura GEOFOR®

Estas singulares características de la armadura de tendel *GEOFOR®* permiten realizar un cálculo estructural de la fachada con la certeza de que el muro ejecutado tendrá realmente la prestación estructural requerida.

3.5. Proceso constructivo del Sistema G.H.A.S.® aplicado a la fachada de ladrillo cara vista

La *fachada autoportante* ejecutada con el Sistema G.H.A.S.®, tanto si es estanca como si es ventilada, se puede construir siguiendo la misma secuencia que en las soluciones convencionales; es decir, ejecutando en primer lugar la hoja exterior. Para evitar puentes térmicos basta con revestir previamente los frentes de forjados y pilares con material aislante.

La sustentación en el arranque se realiza sobre un elemento estructural que, a efectos del análisis se puede considerar con rigidez infinita. Esta situación puede corresponder al arranque del cerramiento sobre la cabeza de un muro de sótano, una solera de hormigón, una viga de borde de forjado o una zapata corrida de cimentación. Si existen soportales o grandes huecos en planta baja, la fachada puede arrancar sobre una viga cargadero, con suficientes puntos de sustentación a la estructura del edificio ¹².

La hembrilla de los anclajes se fija en los elementos estructurales previamente a la ejecución de la fachada, en la que se incorporan las *garras* de los mismos y la armadura de tendel que se precise, a medida que se levanta la hoja exterior del cerramiento por el procedimiento habitual. De esta forma el operario que coloca los ladrillos no tiene que coordinar su trabajo con ningún operario de otro oficio.

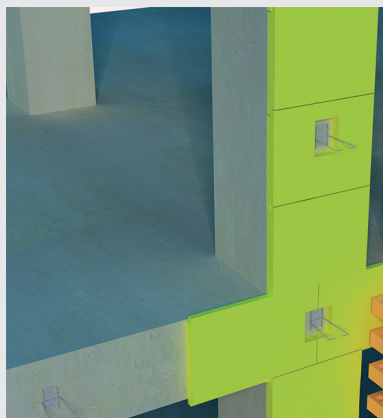


Figura 22. Fijación de los anclajes con los frentes de estructura revestidos con aislamiento

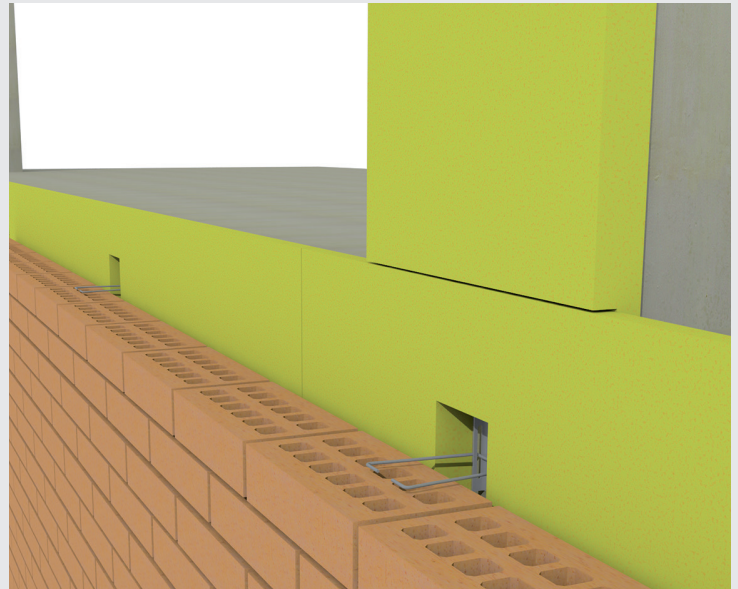


Figura 23. Incorporación de la garra del anclaje en la hoja exterior

La hoja interior del cerramiento se construye en último lugar. El aislamiento térmico se puede alojar en la cámara continua, o se puede colocar adosado a la hoja interior; en este último caso no se precisa la continuidad de la cámara, y la hoja exterior del cerramiento puede estar en posición tangente a la estructura del edificio, sin separación significativa entre ambos elementos.

La condición principal para un comportamiento higratérmico adecuado es que el aislamiento quede lo más próximo posible de la hoja interior. Esto se puede conseguir colocando planchas rígidas con separadores, o utilizando para la hoja interior piezas cerámicas que llevan el aislamiento incorporado por una de las caras. Son piezas machihembradas, que se reciben con yeso. El panel aislante o, en su caso, el machihembrado de las piezas de la hoja interior sirve también para evitar la caída de pasta en la cámara, que debe quedar perfectamente limpia.

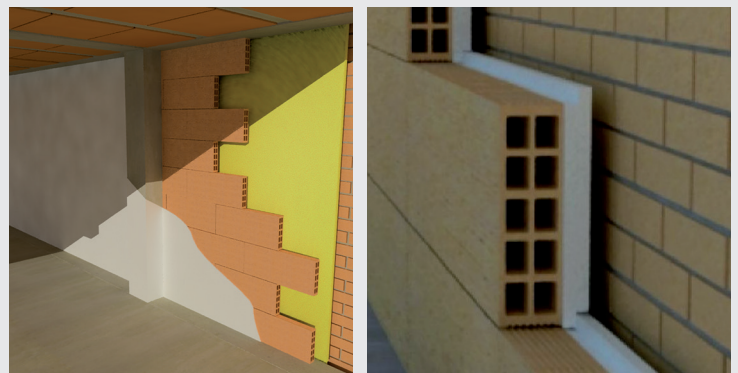


Figura 24. Ejecución de la hoja interior con aislamiento

La versión de *fachada ventilada* se puede construir siguiendo el mismo proceso, y sólo requiere incorporar una lámina de drenaje en el arranque y dejar llagas de ventilación desprovistas de mortero en la primera y última hiladas, a intervalos regulares de, aproximadamente, un metro de distancia en horizontal. Existen piezas de remate para incorporar en las llagas de ventilación y evitar, así, la entrada de suciedad o insectos.

Desde el punto de vista del proceso constructivo y cuantía de elementos auxiliares necesarios, la *fachada autoportante*, en su versión de *fachada ventilada*, no tiene ningún coste adicional respecto de la *fachada autoportante* estanca; incluso puede suponer un ahorro en zonas en las que se exige un alto grado de impermeabilidad, puesto que se puede eliminar el revestimiento del trasdós de la hoja exterior. El coste adicional de la *fachada ventilada* de ladrillo cara vista respecto al de la fachada estanca del mismo material sólo corresponde a la pérdida de superficie útil, debido a que la cámara de aire ventilada necesita, para que funcione como tal, un espesor libre mínimo de 3 cm; lo que supone, en la misma medida, un incremento del espacio ocupado por el cerramiento del edificio.

¹² En el caso de arranque sobre elementos en flexión (viga de forjado, zapata corrida o viga cargadero) la condición de rigidez infinita supone limitar la flecha del elemento al valor de 1/1000 de la luz. Para conseguir este exigente requisito, no hace falta disponer un cargadero muy potente, basta con que tenga puntos de sustentación muy próximos.

4. CONCLUSIONES

Las prestaciones, cada vez más elevadas, que la normativa exige a los edificios, suponen un reto importante que obliga a indagar soluciones novedosas; pero también a profundizar en el conocimiento sobre los materiales y productos tradicionales.

Profundizar en el estudio del comportamiento de los materiales constructivos y en los recursos que ofrece la técnica actual produce como resultado la posibilidad de recuperar productos tradicionales como el ladrillo cara vista, con la confianza que proporciona el conocimiento de lo que se utiliza, y la posibilidad de aumentar el campo de aplicación de las unidades constructivas con sistemas innovadores y, no por ello, más costosos.

El tipo constructivo de *fachada autoportante de ladrillo cara vista*, denominado con la marca STRUCTURA, constituye una muestra de las numerosas posibilidades que ofrecen los materiales cerámicos tradicionales, utilizando los recursos incorporados en la normativa y las soluciones y sistemas avanzados disponibles en el mercado. Constituye también un buen ejemplo de que el análisis sistemático de diferentes soluciones alternativas es un procedimiento adecuado para incrementar las prestaciones de los elementos constructivos, sin incrementar necesariamente el coste del producto final.

STRUCTURA recupera el carácter tradicional de los muros de ladrillo como elementos portantes de sí mismos, aprovechando todo el potencial estructural que tiene el ladrillo cerámico cuando trabaja a compresión, al tiempo que se mejora el comportamiento higro-térmico y acústico del cerramiento y se elimina el conflicto que supone el confinamiento de los cerramientos entre los elementos estructurales del edificio.

El sistema constructivo de *fachada autoportante* elimina los problemas de estabilidad y fisuración inherentes a las fachadas confinadas, consiguiendo una perfecta planeidad y homogeneidad en la fachada. Asimismo, permite resolver paños de gran altura que por sus dimensiones sobrepasan el ámbito de aplicación de las fachadas convencionales confinadas.

La posibilidad de colocar un aislamiento continuo y de ventilar la cámara hacen de las *fachadas autoportantes* STRUCTURA, la mejor opción para cumplir el nuevo DB HE del CTE con ladrillo cara vista, quedando el uso de las fachadas confinadas limitado a zonas climáticas muy favorables y a determinados diseños de edificios.

Sus elevadas prestaciones técnicas, unidas a sus ventajas constructivas y de bajo coste, hacen que las *fachadas autoportantes* de ladrillo cara vista STRUCTURA se presenta como una solución muy competitiva en el mercado para el cumplimiento de todos los requerimientos establecidos por el CTE.

El sistema G.H.A.S (Geo-Hidrol Advanced System) desarrollado por la empresa GEO-HIDROL, es el único sistema que existe actualmente en el mercado que tiene disponibles los elementos auxiliares necesarios para el proyecto y ejecución de las *fachadas autoportantes* de ladrillo cara vista STRUCTURA, asegurando dos requisitos fundamentales, garantía de prestación y la garantía de puesta en obra, eliminando cualquier incertidumbre entre el proyecto y la obra.

5. REFERENCIAS

- *Estructuras de fábrica*. Jacques Heyman. Instituto Juan de Herrera (Madrid). 1995.
- *Cerramientos*. GeoHidrol, S.A. (Madrid). 2006.
- *La fachada ventilada con ladrillo cara vista*. I. Paricio. Nueva Arquitectura con Arcilla Cocida, nº 2. Faenza Editrici Ibérica. S.L. Hispalyt (Madrid).
- *Métodos de Análisis para verificar la estabilidad y resistencia de los cerramientos de ladrillo*. C. del Río. Revista **conarquitectura**. Febrero de 2004.
- *Los materiales cerámicos ante el reto del Código Técnico de la Edificación*. Asier Maiztegi y Julen Astudillo. CIDEMCO, Centro de Investigación Tecnológica. Revista **conarquitectura**. Abril de 2006.
- *Cálculo de muros de fábrica sometidos a cargas laterales de viento*. J. Estévez Cimadevilla y D. Otero Sanz. Revista Hormigón y Acero, nº 240. 2º Trimestre de 2006.
- *Comportamiento de un muro confinado ante acciones laterales*. Víctor Sastre, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Hispalyt. Revista **conarquitectura**. Octubre de 2006.
- *Proyecto cooperativo del análisis de la problemática y las soluciones más adecuadas para la construcción de muros no portantes de fábricas de ladrillo cerámico*. PROFIT liderado por Hispalyt. 2005 - 2008.
- *Sistema STRUCTURA para fachadas de ladrillo cara vista*. C. del Río. Hispalyt. Revista **conarquitectura**. Octubre de 2007.
- *Fachadas de ladrillo cara vista*. GeoHidrol, S.A. (Madrid). 2010.
- *Catálogo Fachada ventilada aislada con poliestero extruido (XPS)*. AIPEX (Asociación Ibérica de poliestireno extruido).
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el *Código Técnico de la Edificación*.
- BOE 28/03/2006.
- *Documento Básico Seguridad Estructural: Fábrica*. Edición de abril de 2009 del Código Técnico de la Edificación.
- *Documento Básico Seguridad Estructural: Acciones en la Edificación*. Edición de abril de 2009 del Código Técnico de la Edificación.
- Directiva de la Unión Europea 2010/31/UE de 19 de mayo relativa a la *Eficiencia energética de los edificios*.
- *Documento Básico DB HE de Ahorro de Energía*. BOE 12/09/2013. Actualización de 2013.
- *Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de energía*. DA BD HE / 3. Puentes térmicos. Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas.
- *Fachadas autoportantes de ladrillo cara vista*. Mª Concepción del Río, Doctor Arquitecto. Revista **conarquitectura**. Octubre de 2012.
- *Catálogo de Soluciones Cerámicas para el cumplimiento del Código Técnico de la Edificación (CTE)*. Hispalyt e Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC). 2008.



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.