



Received: 29-11-2015
Accepted: 14-12-2015

Anales de Edificación
Vol. 2, Nº2, 40-60 (2016)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2016.3310

“STRUCTURA”, fachada autoportante de ladrillo cara vista para cumplir los requisitos del nuevo CTE DB HE” “STRUCTURA”, self-supporting face brick façade to comply with the new CTE DB HE requirements”

Río Vega, Concepción^a Ribas Sangüesa, Ana^b

^a Universidad Politécnica de Madrid (España, mcdelrio@telefonica.net), ^bHispalyt (España, anars@hispalyt.es)

Resumen— 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. Ha sido promovida por Hispalyt en estrecha colaboración con el Departamento Técnico de Geohidrol S.A., empresa líder en la investigación, fabricación y comercialización de sistemas para cerramientos de fábrica. Cuando se analizan las diferentes soluciones de las fachadas de ladrillo, bajo la óptica de los requisitos del Código Técnico de la Edificación, la fachada autoportante 'STRUCTURA' se manifiesta como la solución óptima por su simplicidad, sus elevadas prestaciones y el bajo coste en recursos auxiliares. La fachada autoportante 'STRUCTURA' se caracteriza porque la hoja exterior del cerramiento se construye totalmente separada del edificio, gravitando sobre sí misma, lo cual permite la disposición de una cámara de aire (ventilada o no) con aislamiento térmico continuo. De esta forma se elimina el puente térmico en el encuentro con los frentes de pilares y forjados, mejorando notablemente el rendimiento higrotérmico del edificio con el fin de cumplir el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE), cuyos requisitos en la nueva versión aprobada en Septiembre de 2013 han experimentado un sustancial incremento respecto de los contenidos en la versión anterior. Desde el punto de vista de la respuesta mecánica, la fachada autoportante se fundamenta en el aprovechamiento del potencial que tienen los muros de ladrillo cuando se utilizan como soportes de sí mismos. A diferencia de las soluciones convencionales o de las que requieren elementos auxiliares de sostén dispuestos planta a planta, con la solución 'STRUCTURA' el muro de ladrillo se analiza como un elemento activo en el comportamiento estructural, de manera que su propio peso contribuye beneficiosamente en la resistencia frente a las acciones horizontales.

Palabras clave— Ladrillo; autoportante; aislamiento térmico; fachada ventilada.

Río Vega, C. es miembro del Departamento de Estructuras y Física de Edificación de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Av. Juan de Herrera, 4. 28040 Madrid (e-mail: concepcion.delrio@upm.es).

Ribas Sangüesa, A. es miembro del Departamento Técnico de Hispalyt, Asociación Española de Fabricantes de Productos Cerámicos. Calle de Orense, 10. 28020 Madrid (e-mail: anars@hispalyt.es).

Abstract—The self-supporting face brick façade is the result of a profound reflection on the different solutions for the brick façades that have been used throughout history. It has been promoted by Hispalyt in close collaboration with the Technical Department of Geohidrol S.A., leader company in the research, manufacture and marketing of systems for masonry closings. When analyzing different solutions of face brick façade, under the perspective of the technical building code requirements, the self-supporting façade 'STRUCTURA' appears as the optimal solution for its simplicity, high performance and low cost in auxiliary resources. The self-supporting façade 'STRUCTURA' is characterised by the outer leaf of the enclosure being built fully separately from the building, supported on itself, and thus enabling the provision of an air chamber (ventilated or not) with continuous thermal insulation. In this manner thermal bridges on the fronts of pillars and floors are eliminated, noticeably improving the hygrothermal performance of the building in order to comply with the technical building code basic document for energy saving (DB HE), whose requirements in the new version approved in September 2013 have substantially increased with respect to the requirements of the previous version. From the point of view of the mechanical response, the self-supporting façade is based on exploiting the potential that brick walls have when used as a load-bearing structural element themselves. Unlike conventional solutions or those that require additional support devices arranged floor-to-floor, with the 'STRUCTURA' solution the brick wall is analyzed as an active element in the structural behaviour, so that its own weight contributes beneficially to the resistance against horizontal actions.

Index Terms— Ladrillo; autoportante; aislamiento térmico; fachada ventilada.

I. INTRODUCCIÓN

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). La forma de concebir, proyectar y construir los cerramientos de fachada evolucionó durante la segunda mitad del siglo pasado sin el respaldo que supone una evolución 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 tradicional.

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

TABLA I
TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA Y PERMEABILIDAD AL AIRE DE LOS ELEMENTOS DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

Parámetro	Zona climática de invierno					
	a	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno [W/m²·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 [W/m ² ·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos [m ³ /h·m ²]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

Fuente: DB HE 1. Versión de 2013. Tabla 2.3

Estabilidad (Río, C. & Gil, J., 2006). Este tipo constructivo se decantó como la mejor solución por su simplicidad constructiva, por sus elevadas prestaciones y por el bajo coste en recursos auxiliares (Hispalyt, 2008).

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.

En este sentido, la Fachada Autoportante ‘STRUCTURA’, que surgió para dar respuesta a las deficiencias de índole mecánica que se manifiestan en las soluciones convencionales, se decanta también como la solución óptima para dar respuesta a las prestaciones higrotérmicas del edificio impuestas por las nuevas exigencias de la normativa.

II. ANTECEDENTES

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

La actualización del DB HE responde a la voluntad del Ministerio de Fomento 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 nulo 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 ha comprometido para el año 2020 a reducir en un 20% las emisiones de CO₂ respecto al año 1990, a reducir en un 20% el consumo de energía primaria también respecto al año 1990 y que el 20% de la energía consumida proceda de energías renovables (Objetivo 20/20/20). La actualización del DB HE del año 2013 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 y fundamentalmente supone 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.) tal y como se recogían en

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

- 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 los vidrios y los marcos, factor solar, captación solar)
- Infiltración y permeabilidad de los huecos
- Obstáculos remotos
- Sistemas de sombreado de los huecos.

A. Influencia del nuevo marco normativo en los límites de transmitancia de las fachadas

En los edificios de uso residencial privado, el DB HE 1 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 (tabla I). Entre las características que se limitan en el mencionado DB HE 1 consta la transmitancia térmica de las fachadas.

TABLA II
TRANSMITANCIA DEL ELEMENTO

Transmitancia [W/m ² ·K]	Zona Climática					
	a	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 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

Fuente: DB HE 1. Versión de 2013. Tabla E.1 del Apéndice E

Por otra parte, el Apéndice E del DB HE 1 aporta valores orientativos de los valores característicos de la envolvente

térmica con objeto de facilitar el predimensionado de soluciones constructivas en uso residencial (tabla II).

La utilización de soluciones constructivas con transmitancia térmica igual a la indicada en el 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, es obligatorio hacer el cálculo térmico del edificio.

En las fachadas convencionales con la hoja exterior de ladrillo cara vista de ½ pie de espesor, estos límites impuestos a la transmitancia térmica tienen como consecuencia que se debe duplicar o incluso triplicar los espesores necesarios de aislamiento térmico con respecto a los espesores necesarios para el cumplimiento de la anterior versión del DB HE.

Los espesores mínimos de aislamiento térmico necesario para obtener los valores orientativos de transmitancia térmica establecidos en el Apéndice E del DB HE 1 oscilan, en España peninsular, entre 6 cm en la Zona A y 14 cm en la zona E (Aipex, 2014). Nótese que la gran parte del territorio nacional está comprendido en las Zonas C, D y E (figura 1).

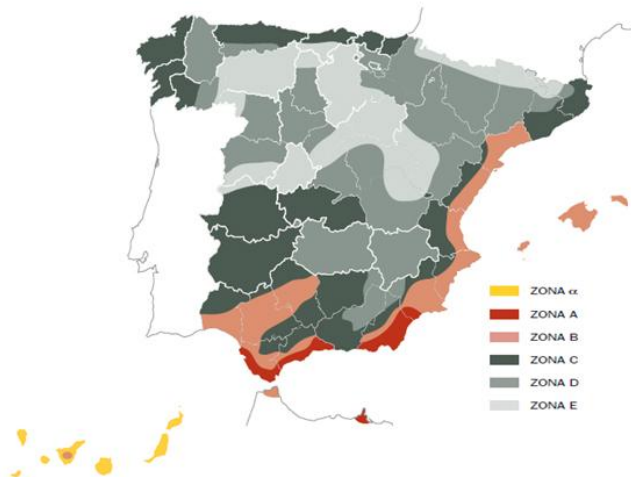


Fig. 1. Zonificación climática según DB HE 1

B. 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 de otro material con una conductividad menor en el muro de cerramiento.

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 conllevan 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 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. El tratamiento constructivo de todos los puentes térmicos es fundamental 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.

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 pudiera 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*¹) en relación a la transferencia térmica unidimensional de referencia que se produce en los elementos adyacentes. Su expresión es la siguiente:

$$\Psi = \frac{\Phi_{2D}}{L(\theta_i - \theta_e)} - \sum_n (A_i U_i) \quad (1)$$

siendo:

Ψ	<i>transmitancia térmica lineal</i> [W/m·K]
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]
U_i	transmitancia térmica del elemento adyacente i [W/m ² K]

¹ Se define como “*puente térmico lineal*” el puente térmico con una sección transversal uniforme a lo largo de una dirección.

A_i superficie a la que se aplica el valor U_i [m^2]

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 unidimensional².

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:

$$\Phi_T = \left(\sum_n U_i A_i + \sum_j \Psi_j L_j \right) (\theta_i - \theta_e) \quad (2)$$

siendo:

- Φ_T flujo de calor a través de una superficie [W]
- U_i transmitancia térmica del elemento i [W/m^2K]
- A_i superficie a la que se aplica el valor U_i [m^2]
- 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]

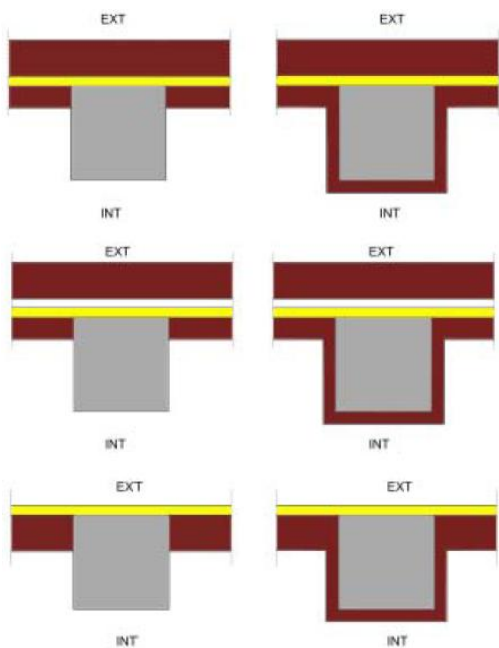


Fig. 2. Pilares integrados en fachada con continuidad del aislamiento (Grupo 1). Soluciones con el aislamiento continuo por el exterior. Fuente: Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de energía: DA DB HE / 3 Puentes térmicos.

² 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.

C. Valores de la transmitancia térmica lineal Ψ 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 en el que incluye un atlas de puentes térmicos con los valores de *transmitancia térmica lineal* Ψ para las soluciones constructivas más habituales. Se incluyen aquí algunos esquemas de soluciones y los valores de *transmitancia térmica lineal* Ψ que corresponden a las dos situaciones posibles de encuentro del cerramiento de fachada con los pilares y con los forjados.

1) Frentes de pilares. 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 (figura 2). Se considera

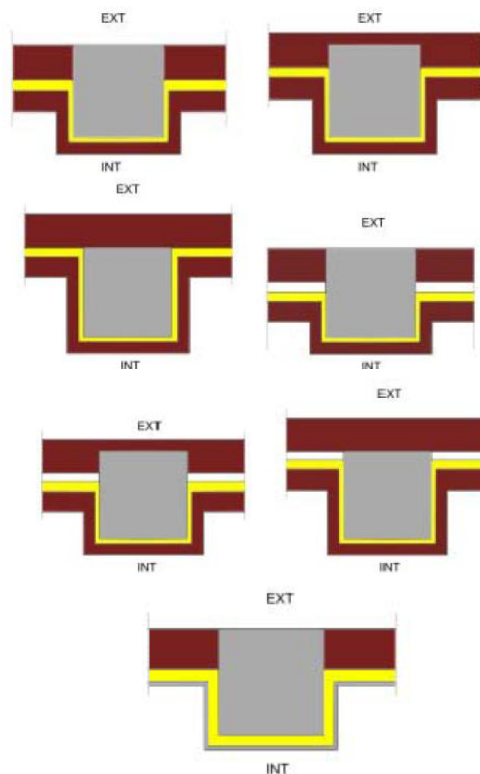


Fig. 3. Pilares integrados en fachada con continuidad del aislamiento (Grupo 1). Soluciones con el aislamiento continuo por el interior. Fuente: Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de energía: DA DB HE / 3 Puentes térmicos.

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 (figura 3).

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.

2) *Frentes de pilares. GRUPO 2*

El grupo 2 de pilares integrados en fachada contiene detalles en los que se interrumpe la continuidad del aislante del muro o detalles sin aislamiento (figura 4).

El comportamiento térmico en estos casos es mucho más desfavorable que en los detalles en los que el pilar está protegido mediante aislamiento. La transmitancia térmica lineal tiene un valor del orden de 1 para los pilares de 25 cm x 25 cm y aumenta con el tamaño del pilar (tabla III).

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.

3) *Frentes de forjados. GRUPO 1*

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 (figura 4).

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 muros.

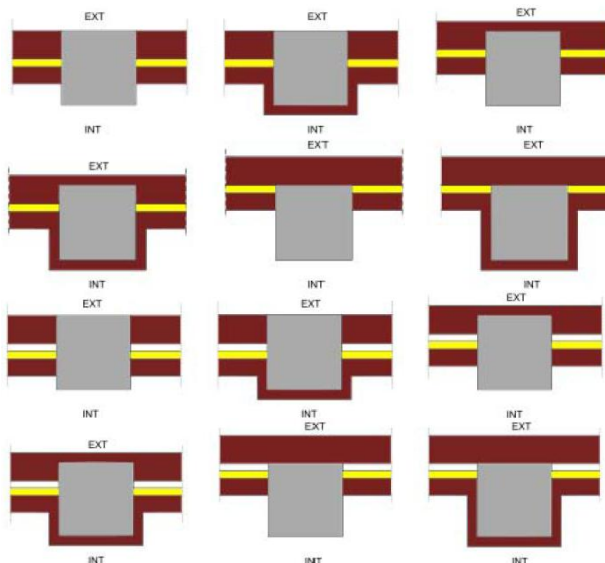


Fig. 4. Pilares integrados en fachada sin continuidad del aislamiento (Grupo 2). Soluciones con el aislamiento interrumpido por el pilar. Fuente: Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de energía: DA DB HE / 3 Puentes térmicos.

4) *Frentes de forjado. GRUPO 2*

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.

TABLA III
 TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EN PILARES INTEGRADOS CON CONTINUIDAD DEL AISLAMIENTO

U_{muro} [W/m ² ·K]	Ψ_e [W/m·K]	Ψ_i [W/m·K]
	Dimensiones pilar [cm x cm]	
	20x20 / 30x30	
	0,73	0,02
	0,44	0,01
	0,31	0,00
	0,27	0,00
	0,24	0,00

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.

TABLA IV
 TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EN PILARES INTEGRADOS SIN CONTINUIDAD DEL AISLAMIENTO

U_{muro} [W/m ² ·K]	Ψ_e, Ψ_i [W/m·K]		
	Dimensiones pilar [cm x cm]		
	25x25	30x30	35x35
0,7	1,03	1,20	1,36
3			
0,4	1,05	1,24	1,40
4			
0,3	1,00	1,20	1,37
1			
0,2	0,97	1,17	1,35
7			
0,2	0,94	1,15	1,32

D. *Pérdidas por puentes térmicos en un edificio tipo*

Si se hace un estudio en un edificio tipo, utilizando los datos anteriores, se puede obtener el orden de magnitud que tiene la repercusión de los puentes térmicos en la demanda energética, en función de la solución de encuentro de la fachada con el forjado. Se incluye un ejemplo.

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 M/m²K
- Ventanas con vidrios dobles bajo emisivos 0,03 – 0,1; U = 1,8 W/m²K y marcos U = 2,2 W/m²K
- Permeabilidad 3 m³/h m²
- Con sombras estacionales

Solución con fachada confinada entre forjados (con interrupción del aislamiento en los forjados):

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

Solución con fachada autoportante (con continuidad del aislamiento en los forjados):

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



Fig. 5. Frentes de forjado con continuidad del aislamiento de fachada (Grupo 1). Soluciones en las que el forjado no interrumpe el aislamiento. Fuente: Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de energía: DA DB HE / 3 Puentes térmicos.

TABLA V
TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EN FRENTES DE FORJADO CON CONTINUIDAD DEL AISLAMIENTO DE FACHADA

	Ψ_e [W/m·K]			Ψ_i [W/m·K]			
	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	0,33
	0,44	0,01	0,01	0,01	0,15	0,17	0,19
	0,31	0,00	0,00	0,00	0,10	0,12	0,13
	0,27	0,00	0,00	0,00	0,09	0,10	0,12
	0,24	0,00	0,00	0,00	0,08	0,09	0,10

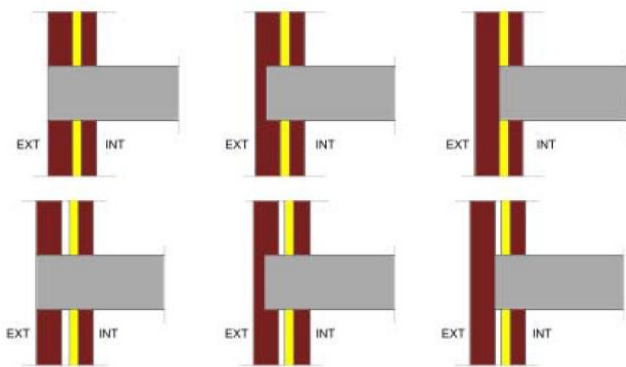


Fig. 6. Frentes de forjado sin continuidad del aislamiento de fachada (Grupo 2). Soluciones en las que el forjado interrumpe el aislamiento. Fuente: Documento de Apoyo al Documento Básico DB HE Ahorro de energía: DA DB HE / 3 Puentes térmicos.

TABLA VI
TRANSMITANCIA TÉRMICA LINEAL EN FRENTES DE FORJADO SIN CONTINUIDAD DEL AISLAMIENTO DE FACHADA

	Ψ_e [W/m·K]			Ψ_i [W/m·K]			
	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	0,33
	0,44	0,01	0,01	0,01	0,15	0,17	0,19
	0,31	0,00	0,00	0,00	0,10	0,12	0,13
	0,27	0,00	0,00	0,00	0,09	0,10	0,12
	0,24	0,00	0,00	0,00	0,08	0,09	0,10

E. Influencia de la solución constructiva de fachada en el comportamiento térmico

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 elementos estructurales del edificio, forjados y pilares.

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 continuo, la entrega en los forjados se realiza parcialmente, dejando un espacio reservado para el emparchado del frente de forjado con plaquetas. Esta disposición produce un estrangulamiento del muro al paso por los forjados y, a veces, incluso también al paso por los pilares, que da lugar a importantes puentes térmicos debido a la interrupción del aislamiento térmico de la fachada en esos puntos.

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 y pilares 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 en los puntos de encuentro de la fachada con la estructura, 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 de la nueva edición del 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 o pilares es incompatible geoméricamente con el espesor requerido para la estabilidad de las plaquetas e, incluso, con el ancho de entrega requerido para la estabilidad del propio muro.

III. ‘STRUCTURA’ Y LA FACHADA AUTOPORTANTE

La marca ‘STRUCTURA’ se instauró desde hace casi una década, a iniciativa de Hispalyt en estrecha colaboración con Geohidrol S.A., empresa líder en la investigación, fabricación y distribución de sistemas para muros de fábrica. El objetivo era afrontar el reto que suponía, para las fachadas de ladrillo cara vista, la entrada en vigor del CTE. Se trataba de promocionar el desarrollo, investigación y búsqueda de posibilidades para solucionar las fachadas de ladrillo cumpliendo principalmente las exigencias del CTE contenidas en el Documento Básico “Seguridad Estructural: Fábrica” (en adelante, DB SE-F), que desarrolla el requisito esencial de Resistencia Mecánica y Estabilidad. El tipo constructivo que se decidió desarrollar es el que se denominó “Fachada Autoportante de Ladrillo Cara Vista” y fue el resultado de una profunda reflexión sobre las diferentes soluciones para las fachadas de ladrillo que se han utilizado a lo largo de la historia, bajo la óptica de su respuesta mecánica.

A. La Fachada Autoportante

El tipo constructivo de *Fachada Autoportante* se caracteriza, esencialmente, por la posición del muro de ladrillo que constituye la hoja exterior del cerramiento de fachada, que se construye 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 ladrillo es el principal elemento estructural soporte de sí mismo (figura 7).



Fig. 7. Vista desde el interior de una *Fachada Autoportante* de ladrillo cara vista.

La característica más significativa de la *Fachada Autoportante* de ladrillo cara vista se fundamenta en el aprovechamiento del potencial estructural que tienen los materiales cerámicos 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 para el sostén de la fachada en cada planta del edificio (tales como angulares, ménsulas o consolas), tienen en común la concepción del muro de ladrillo 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 ladrillo 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 de edificios 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 ladrillo, 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.

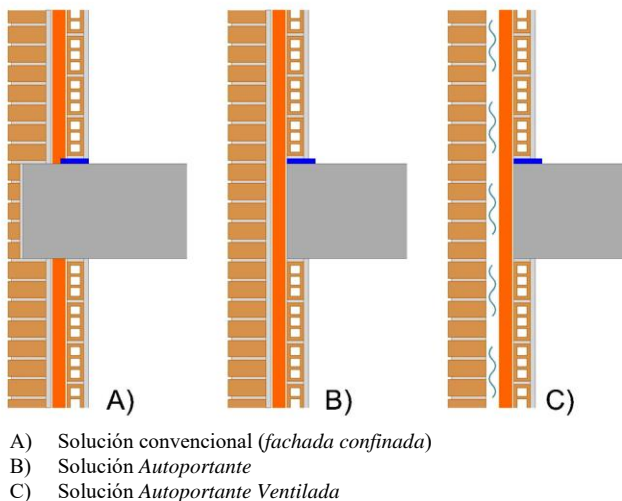


Fig. 8. Tipos constructivos de fachada de ladrillo cara vista.

La solución de *Fachada Autoportante* no requiere la disposición de plaquetas ni piezas especiales de chapado en los frentes de forjados o soportes. La eliminación de 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 supone un estrangulamiento del muro, precisamente 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 $\frac{1}{2}$ 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, la zona de 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, por ser piezas de pequeño espesor, evolucionan de distinta forma que el resto de piezas tipo. 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 este tipo constructivo, 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 Cara Vista de Hispalyt* bajo la marca '*STRUCTURA*' (figura 8).

B. Razón de ser de la Fachada Autoportante de Ladrillo Cara Vista

Si se exploran 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*, con muros de gran espesor, en los que el propio muro resuelve todas las prestaciones exigidas al cerramiento, tanto las de índole mecánica como las de índole funcional.

El segundo tipo corresponde a las fachadas concebidas como la *piel* exterior del edificio, que habitualmente 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 cerámico 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.

Por el contrario, la resistencia a tracción de los materiales pétreos sólo es testimonial, lo que limita 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.

La contribución a la respuesta mecánica que aporta el propio peso y la continuidad de los muros de fábrica es la principal razón de ser de las *Fachadas Autoportantes*.

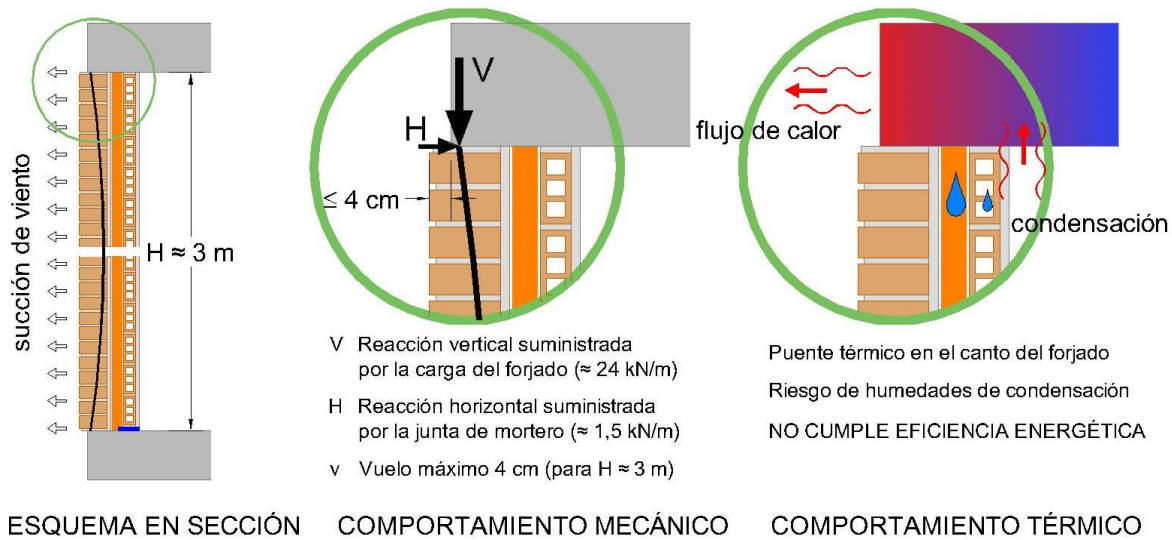


Fig. 9. Fachada confinada entre forjados (*sistema convencional*)

1) Descripción de la fachada confinada (*sistema convencional*)

Cuando las fachadas 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 (figura 9).

El sistema constructivo que propició resolver esta nueva circunstancia en las fachadas de los edificios con estructura de pórticos, sin necesidad de recurrir a la escasa y poco 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 (Sastre, V. 2006).

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 elementos³. 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 paño⁴. Pero, además, el hecho de confinar la fachada 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*.

La falta de un análisis estructural adecuado para este tipo constructivo, que se desarrolló en un vacío legal, 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 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

que se refería únicamente a los muros de carga, cuyas rutinas y modelos no sirven para aplicarlos a los muros de fachada.

⁴ 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.

³ Hasta la entrada en vigor del CTE la única Norma Básica Española que recogía los muros de ladrillo era la *Norma Básica de la Edificación FL-90*,

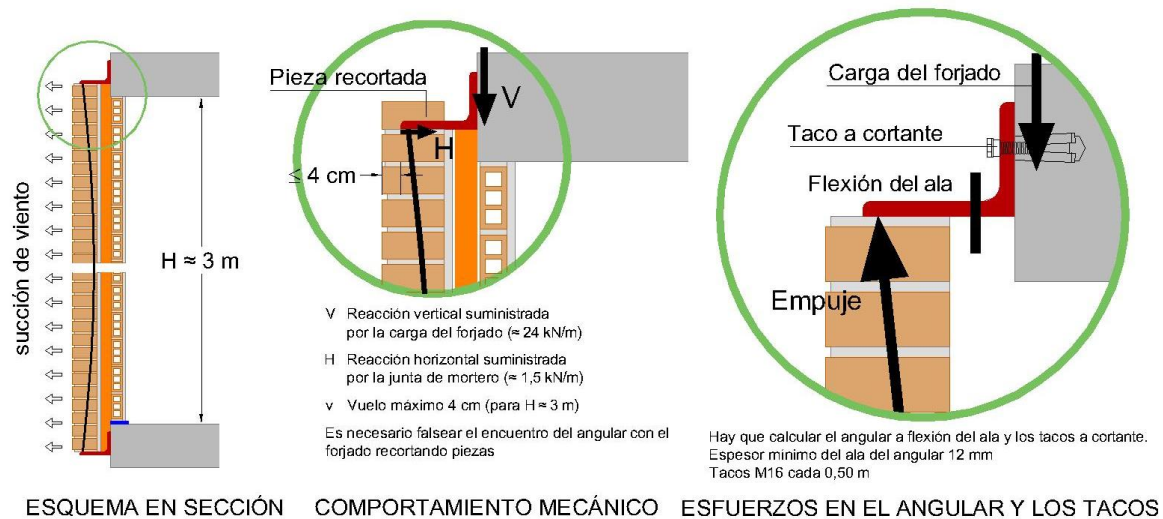


Fig. 10. Fachada *confinada* con angular en el forjado (*sistema alternativo al convencional*)

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 aun 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 (Hisपालyt, 2004), cuyos modelos y procedimientos para los muros con acción horizontal predominante vienen explícitos en el DB SE-F, 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) Descripción de la fachada confinada con angular (alternativa al sistema convencional)

Con el objetivo de paliar el elevado número y naturaleza de 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. La solución más generalizada consistía en intercalar un angular en cada frente de forjado, concebido erróneamente como “*elemento de apoyo*”, que quedaba parcialmente embutido en el muro de ladrillo al nivel de cada planta. La solución permitía separar la hoja exterior de la estructura (ver la figura 10), 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 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 estructural⁵ pero, sobre todo, porque el problema que se pretendía resolver era liberar al muro de la acción gravitatoria desviando su peso hacia los forjados, y sin embargo esta cuestión 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 existe continuidad en vertical del muro éste gravita sobre sí mismo en cualquier caso⁶.

Desde que las fachadas 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 (Heyman, 1995): “*cuanto más peso, mejor*”.

Los efectos secundarios nocivos de las soluciones 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

⁵ El angular se dimensionaba por razones de compatibilidad geométrica sin el menor análisis de respaldo.

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*”.

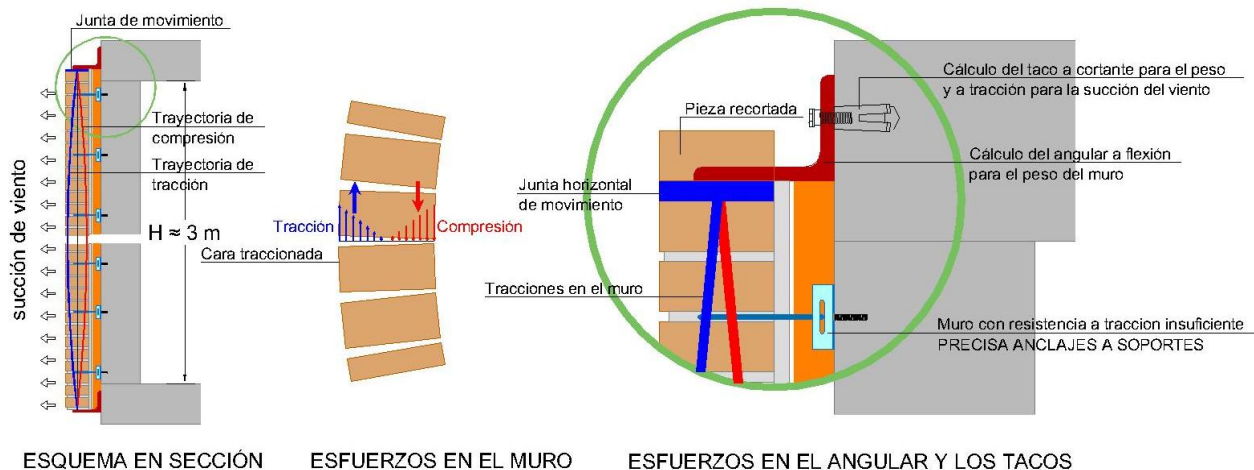


Fig. 11. Fachada con junta horizontal de movimiento (*sistema alternativo a la fachada confinada*)

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.

3) Descripción de la fachada con junta horizontal de movimiento (*alternativa a la fachada confinada*)

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 (figura 11). Con este tipo de soluciones 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.

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 engorrosos puentes. Sin embargo, obvian la circunstancia de que un muro de ladrillo cerámico, incluso de $\frac{1}{2}$ pie de espesor, tiene porte y resistencia suficientes para sostenerse a sí mismo en toda su altura, incluso para un número elevado de plantas. También obvian el hecho de que para evitar la incompatibilidad de movimientos no es necesario interrumpir la continuidad del muro, es suficiente 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 condiciones de seguridad estructural al eliminar el efecto beneficioso que supone, por una parte el peso de las plantas superiores y, por otra parte, la continuidad del elemento⁷.

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

⁷ La continuidad en los elementos solicitados a flexión equivale 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.

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 en el análisis estructural el potencial que tienen los muros de fábrica para soportarse a sí mismos.

4) Conclusiones derivadas del análisis de las diferentes soluciones de fachada.

Si se aplican sistemáticamente a las distintas soluciones de fachada los modelos de la normativa actual⁸ 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 (Geohidrol, 2006).

La 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, con objeto de 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 diez o quince plantas, según los casos.

Estas importantes conclusiones y una mirada hacia atrás, recuperando la forma de concebir los muros de ladrillo que

⁸ En particular, los modelos de análisis para verificar la respuesta de las fachadas ante acciones horizontales, los cuales se han reproducido parcialmente en este documento, están explícitos en el apartado 5.4 del DB SE-F.

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 artilugio 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 gravite sobre sí mismo en toda su altura, no supone ningún coste adicional ni requiere ninguna complejidad constructiva de la solución.

Todas estas razones justifican por sí mismas la necesidad de cambiar la forma de concebir los muros de fachada de ladrillo cara vista, incorporando el potencial del material cerámico en el análisis estructural de la solución constructiva del cerramiento.

Con la entrada en vigor de la nueva edición del DB HE, las ventajas derivadas de la eliminación de puentes térmicos analizadas en capítulos anteriores, se añaden a las ventajas de índole mecánica 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.

IV. EL 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 proceso de creación y desarrollo de la marca '*STRUCTURA*' llevada a cabo por la *Sección Cara Vista de Hispalyt* re realizó en estrecha colaboración con la Empresa Geohidrol S.A. que tenía resuelto hasta los últimos detalles el *Sistema G.H.A.S.*® para las *Fachadas Autoportantes* de



Fig. 12. Sistema G.H.A.S.® (Geohidrol Advanced Systems)

ladrillo cara vista⁹.

A. Descripción del Sistema G.H.A.S.®

El Sistema G.H.A.S.® (GeoHidrol Advanced Systems) surgió hace más de una década (figura 12), 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.

⁹ Sistema G.H.A.S. significa “Geohidrol Advanced Systems” e incluye los tipos constructivos de cerramientos de fachada analizados y dimensionados por Geohidrol, S.A. El tipo de *Fachada Autoportante* es el más utilizado por conducir a las soluciones más competitivas, desde el punto de vista del consumo de elementos auxiliares, con notable diferencia respecto a los demás, por lo que se suele identificar el nombre del Sistema con el tipo constructivo.

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, estas condiciones son imposibles de verificar una vez ejecutado el muro; 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 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 de *Fachadas Autoportantes*, sobre todo dentro del ámbito de su aplicación a las fachadas de ladrillo con acabado 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.® se puede aplicar a cualquier tipo constructivo de cerramiento de fachada, puesto que se fundamenta 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 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 resistir las acciones horizontales y conducir las 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 líneas de sustentación 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.

B. Características del Sistema G.H.A.S.®

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

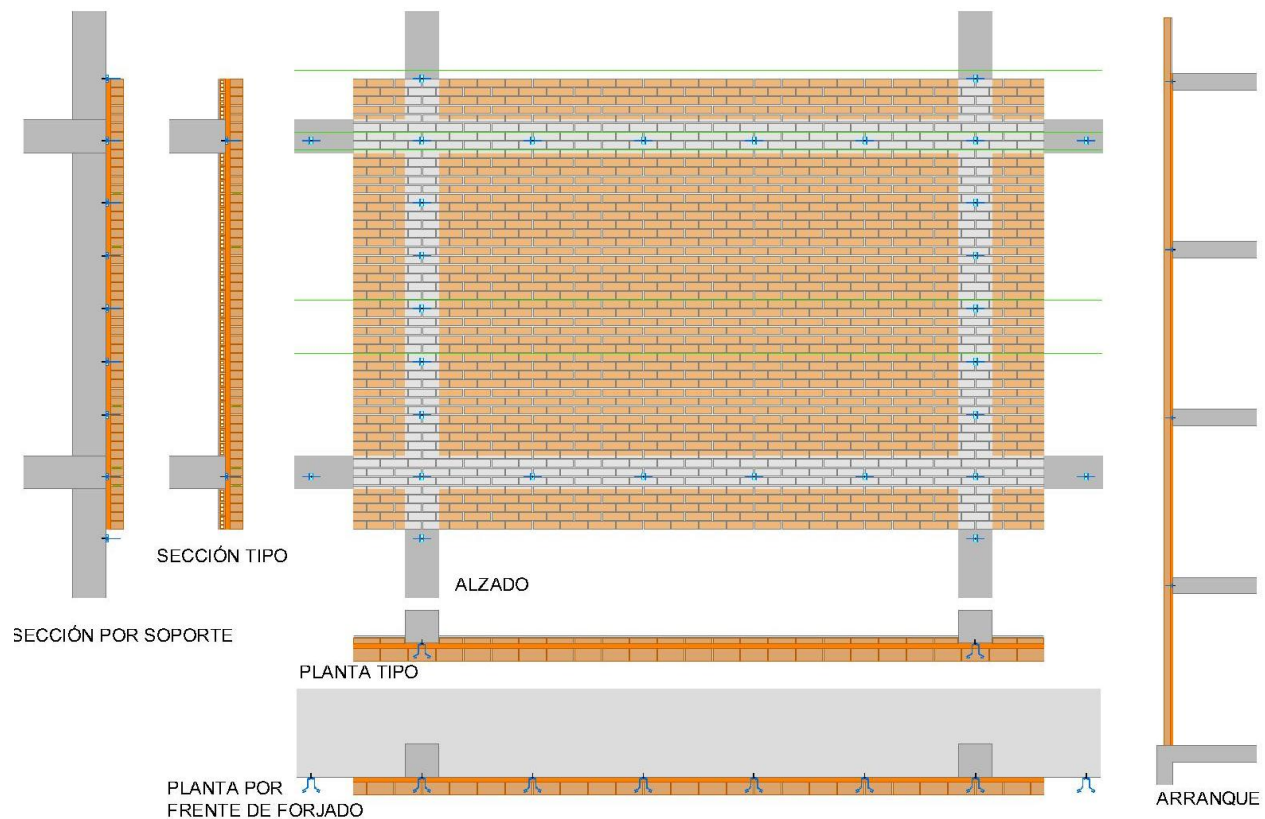


Fig. 13. Descripción del Sistema G.H.A.S.®

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 13.

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

- Utilizar el efecto beneficioso del peso de la fachada en el análisis frente a las acciones horizontales.
- Mejorar el comportamiento higrotérmico del cerramiento, eliminando los puentes térmicos y el riesgo de condensación superficial.
- Evitar el conflicto constructivo que supone el confinamiento de la fachada entre los elementos estructurales del edificio.

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.

1) Características de índole estructural

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 (Estévez, J. & Otero, D. 2006).

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.

2) Características de índole funcional

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 cumplimiento de la limitación de demanda energética y evitar 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* (Paricio, I., 1995) y de otras adicionales en virtud de tener un material de acabado tradicional, como es el ladrillo cara vista (durabilidad, bajo mantenimiento, calidad estética, etc.).

3) Características de índole constructiva

La principal característica constructiva del *Sistema G.H.A.S.*® aplicado a las *Fachadas Autoportantes* de ladrillo cara vista 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.

C. Elementos del Sistema G.H.A.S.® con prestación estructural

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 de ladrillo como elemento activo esencial 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 en las dos direcciones, por una parte; y, por otra, la reacción horizontal de sustentación 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 sollicitaciones 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:

- 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.
- 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 función 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* (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 analiza¹⁰.

D. Propiedades de la 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 esencial en el comportamiento mecánico del muro, la prestación estructural atribuida a la armadura de tendel GEOFOR®.

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 horizontal 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 el mortero y la armadura y 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 que 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 garantizar 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*.

La *condición de 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 *condición de 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 *Mercado 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

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

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.

La *condición de 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 declarada. 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 tradicionales que se comercializan desde hace varias décadas 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 (figura 14) 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 en los extremos para facilitar el *solape* manteniendo el recubrimiento

lateral entre barra contiguas; y provista de separadores que garanticen el *recubrimiento* superior e inferior de mortero, y de testigos que permiten un control exhaustivo de la puesta en obra, posibilitando la comprobación de la cuantía y de la *longitud de solape* mediante una simple inspección visual, con posterioridad a la ejecución del muro.



Fig. 14. Armadura de tendel GEOFOR®

E. Propiedades de los 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 al muro. 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 la sección del muro, contribuyendo de este modo 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 vuelco¹¹. 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.



Fig. 15. Anclaje de retención GEOANC®.

La prestación estructural de los anclajes se define por su respuesta mecánica a tracción y compresión, y 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 estabilidad del muro ejecutado. Para poder garantizar el cumplimiento y control de estos aspectos, los anclajes *GEOANC®* tienen una singular forma geométrica (figura 15) que facilita una correcta ubicación de la *garra* en el muro y 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.

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

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

las condiciones de durabilidad en todos los casos, los anclajes *GEOANC®* son de acero inoxidable austenítico (figura 15).

F. Proceso constructivo del Sistema G.H.A.S.®

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 (figura 16).

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 edificio¹².



Fig. 16. Fijación de los anclajes a los elementos estructurales, con los frentes revestidos previamente con aislamiento.

La hembra 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 (figura 17). De esta forma el operario que coloca los ladrillos no tiene que coordinar su trabajo con ningún operario de otro oficio.

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

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.

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.

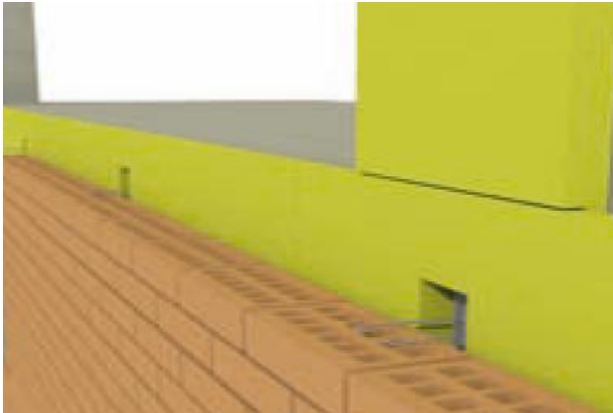


Fig. 17. Incorporación de la garra del anclaje en el muro de ladrillo.

La condición principal para un comportamiento higrotérmico 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 (figura 18). 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.



Fig. 18. Ejecución de la hoja interior con aislamiento.

G. Versión de Fachada Autoportante Ventilada

El Sistema G.H.A.S.® ofrece la posibilidad de construir Fachadas Autoportantes de ladrillo cara vista en la versión de Fachadas Ventiladas. El proceso constructivo es idéntico al proceso de la versión estanca, 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 evitando 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 supone 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.

V. 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.

El tipo constructivo de Fachada Autoportante de ladrillo cara vista 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.

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.

REFERENCIAS

- AIPEX (2014). Catálogo Fachada ventilada aislada con poliestero extruido (XPS). Asociación Ibérica del Poliestireno Extruido.
- Estévez, J. & Otero, D. (2006). Cálculo de muros de fábrica sometidos a cargas laterales de viento. Hormigón y Acero, 240 (pp. 55-62).
- Geohidrol. (2008). Fachadas de ladrillo cara vista, pp. 319-385. Madrid: La Sombra Creativa.
- Heyman, J. (1995). Estructuras de fábrica. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Hispalyt (2008). 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 2005-2008.

- Maiztegi, A. & Astudillo, J. (2006). Los materiales cerámicos ante el reto del Código Técnico de la Edificación. Revista Conarquitectura, 18 (p. 81).
- Paricio, I. (1995). La fachada ventilada con ladrillo cara vista. Revista Nueva Arquitectura con Arcilla Cocida, 2 (p. 37).
- Río, C. (2004). Métodos de análisis para verificar la estabilidad y resistencia de los cerramientos de ladrillo. Revista Conarquitectura, 10 (p. 65).
- Río, C. & Gil, J. (2006). Cerramientos, pp. 140-175. Madrid: Geohidrol, S.A.
- Sastre, V. (2006). Comportamiento de un muro confinado ante acciones laterales. Revista Conarquitectura, 20 (pp. 81-88).



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.