

## 8. Fachadas no convencionales. Fachadas G.H.A.S.®

<b>8.1 Elementos del Sistema G.H.A.S.®</b>	<b>353</b>
8.1.1 Armadura de tendel GEOFOR® de alta protección .....	353
8.1.2 Anclajes de doble movimiento GEOANC.CDM® .....	354
8.1.3 Llaves para juntas de movimiento ANCONFIG.PPS® .....	354
8.1.4 Apoyo ANCON ÓPTIMA® .....	354
8.1.5 Postes a viento WINDPOST® .....	355
8.1.6 Lámina impermeabilizante ZETAFLOR® .....	355
<b>8.2 Sistema G.H.A.S.® para cerramientos de ladrillo</b>	<b>356</b>
8.2.1 Cerramiento pasante o autoportante .....	356
Ejemplo 9 .....	359
Ejemplo 10 .....	362
8.2.2 Edificios en altura. Soluciones de apoyo .....	366
8.2.3 Huecos corridos horizontales .....	369
Ejemplo 11 .....	371
Ejemplo 12 .....	375
8.2.4 Fachada ventilada .....	381
<b>8.3 Proceso constructivo del Sistema G.H.A.S.®</b>	<b>384</b>
8.3.1 Formación de huecos .....	385
8.3.2 Remate de los petos de azotea .....	385



## 8. Fachadas no convencionales. Fachadas G.H.A.S.®

Los cerramientos concebidos con los sistemas convencionales tienen limitado su campo de aplicación debido a la propia naturaleza que condiciona su comportamiento mecánico. La dificultad de resistir esfuerzos de flexión o tracción y el carácter frágil de su comportamiento en rotura, son factores que limitan sustancialmente no sólo la posibilidad de su aplicación en situaciones no habituales, sino el rango de sus dimensiones en situaciones cotidianas.

El *Sistema G.H.A.S.® (Geohidrol Advanced System)* ofrece soluciones que posibilitan la utilización de elementos de fábrica con dimensiones o en situaciones que sobrepasan el rango de lo que se considera convencional. Evoluciona día a día incorporando nuevos elementos, de diseño exclusivo, con el fin de ofrecer a los proyectistas, constructores y promotores soluciones adaptadas a cada situación, avaladas por el análisis estructural, y con total garantía de ausencia de fisuración y humedades.

### 8.1 Elementos del Sistema G.H.A.S.®

El *Sistema G.H.A.S.®* utiliza componentes auxiliares similares a los descritos para las soluciones convencionales aunque algunos de ellos, como las armaduras, con prestaciones especiales relacionadas con la resistencia a la corrosión. Existen, además, otros elementos disponibles, que pueden ser utilizados o no, según la situación particular de la fachada en el contexto del proyecto.

#### 8.1.1 Armadura de tendel GEOFOR® de alta protección

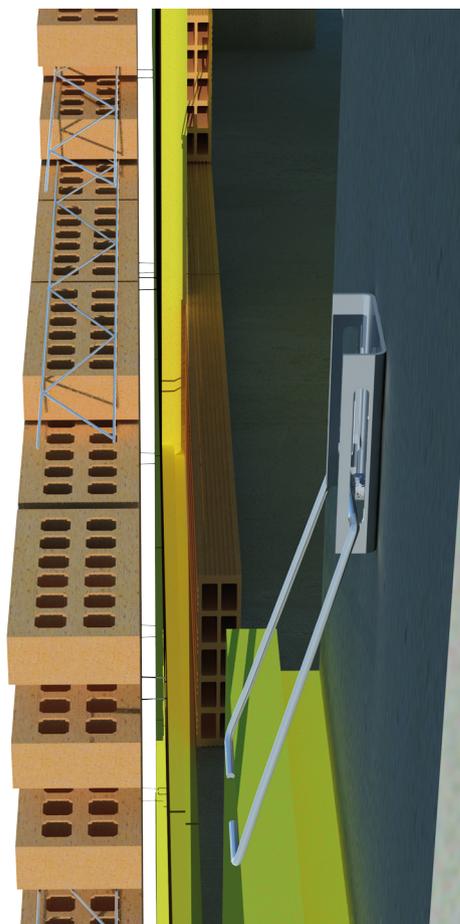
El *Sistema G.H.A.S.®* sirve para todo tipo de fábricas, independientemente de la región en la que se construyan y del grado de exposición al que vayan a estar sometidas. Por esta razón, la armadura de tendel específica para ellas debe tener un acabado de alta protección frente a la corrosión.

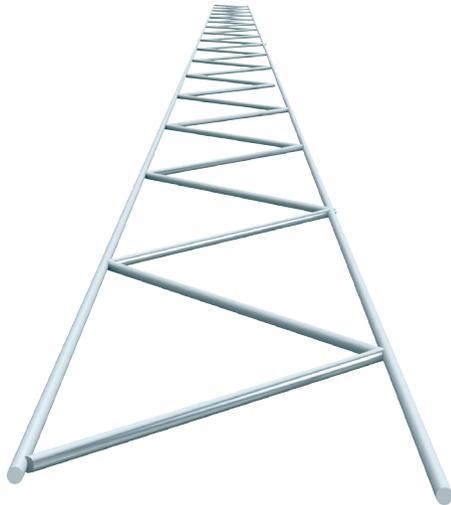
La armadura de tendel GEOFOR® tiene un acabado equivalente al *galvanizado fuerte*, para poder ser utilizada en cualquier fábrica sin revestir, situada en cualquier punto del territorio nacional, excepto en edificios situados a menos de 5 kilómetros de la costa, en los que se debe prescribir armadura inoxidable.

El incremento de coste que supone un acabado de alta protección se contrarresta en buena parte con el incremento de las prestaciones mecánicas. La armadura de tendel GEOFOR® está fabricada con acero tipo y clase B 600 S. Ello supone un valor de resistencia mecánica superior en un 20% al correspondiente a la armadura

FISUFOR®, lo que se traduce en una menor cuantía de armadura requerida por resistencia, o bien en una mayor distancia viable entre elementos de sustentación vertical.

En la inmensa mayoría de los casos habituales de luces entre soportes, con armadura GEOFOR® se puede prescindir de postes a viento intercalados, lo que supone un ahorro significativo en el coste de la solución.



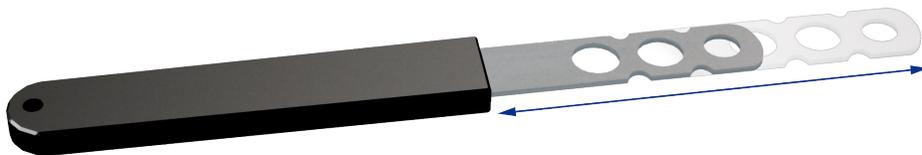
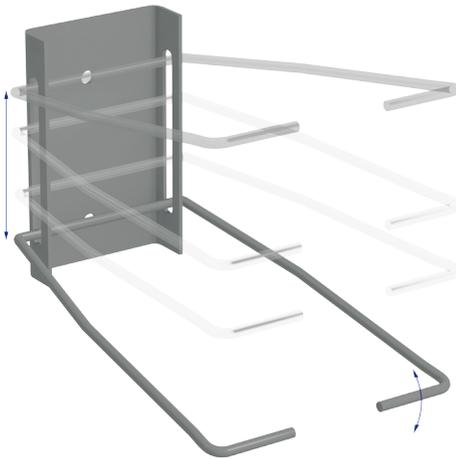


### 8.1.2 Anclajes de doble movimiento GEOANC.CDM®

El *Sistema G.H.A.S.*® tiene, como prestación fundamental, la prevención de cualquier riesgo de fisuración. El principal origen de los procesos patológicos que desencadenan la aparición de fisuras es la incompatibilidad de movimientos entre la estructura portante del edificio y el elemento de fábrica.

Por ello, el tipo de anclajes utilizado para la sujeción de la fábrica a la estructura no puede ser rígido, sino que debe transmitir esfuerzos con carácter selectivo, y debe posibilitar determinados movimientos diferenciales entre el muro y el elemento estructural en el que se sustenta, evitando sólo aquellos movimientos para los que se dispone.

El anclaje específico utilizado en el *Sistema G.H.A.S.*® es el anclaje de doble movimiento GEOANC.CDM® que sólo se comercializa en acero inoxidable. Con ello se garantiza, por una parte, la ausencia de fisuración debida a coacciones al libre movimiento, tanto vertical como horizontal, de la fábrica en su propio plano y, por otra parte, cualquier riesgo de procesos patológicos por corrosión.



Es importante destacar que los anclajes son elementos que no pueden ser objeto de mantenimiento y reposición periódica, por lo que no es posible adoptar medidas ante un inicio de corrosión. En la mayoría de los casos del *Sistema G.H.A.S.*® los anclajes quedan expuestos al ambiente exterior, por lo que es imprescindible que sean de acero inoxidable.

### 8.1.3 Llaves para juntas de movimiento ANCONFIX.PPS®

En el *Sistema G.H.A.S.*® todos los movimientos y esfuerzos en la fábrica están controlados. Las llaves de atado en las juntas de movimiento son fundamentales para ello.

Este componente es idéntico al descrito en las Soluciones GEOANC® para fábricas convencionales.

### 8.1.4 Apoyo ANCON ÓPTIMA®

Constituye un dispositivo auxiliar para transmitir el peso del cerramiento a la estructura del edificio.

Se compone de dos elementos: el aparato de apoyo propiamente dicho, y un perfil corrido que sirve para sustentar la primera hilada mientras se ejecuta la fábrica.

El perfil corrido sólo tiene una función constructiva, que es la de servir de base para la colocación de la primera hilada. Una vez ejecutada la fábrica y finalizado el proceso de fraguado el mortero, el paño se comporta como una viga de gran canto sustentada puntualmente en los aparatos de apoyo.

El diseño exclusivo del Apoyo ANCON ÓPTIMA® permite ajustar el replanteo de la fachada en las tres direcciones del espacio, para poder adaptar el paño a la posición relativa de los forjados.

Existen disponibles en el mercado diferentes anchos de los aparatos de apoyo, para acomodar el paño de fábrica a cualquier espesor previsto de la cámara comprendido entre 6 cm y 10 cm.

Los aparatos de apoyo se utilizan en las fachadas autoportantes de edificios en altura, para interrumpir la carga del cerramiento cuando lo exige el análisis. Para valores habituales de la acción horizontal esta circunstancia sólo se produce en edificios de más de diez plantas.

#### 8.1.5 Postes a viento WINDPOST®

Su función específica es la retención del cerramiento frente a la acción de viento. Son elementos prefabricados, de acero inoxidable, que se colocan intercalados entre los soportes estructurales existentes en el plano de fachada.



Se conectan a los forjados mediante fijaciones especialmente diseñadas para transmitir las reacciones correspondientes. Su sección es la adecuada para resistir esfuerzos de flexión.

Se utilizan como solución alternativa a la disposición de perfiles estándar de acero protegido, cuando no existen soportes en el plano de fachada o cuando la luz entre ellos es excesiva según el análisis estructural del cerramiento.

#### 8.1.6 Lámina impermeabilizante ZETAFLOR®

Es una membrana impermeable que se coloca en los frentes de forjados y forrando los soportes para desconectar estos elementos de la fachada y evitar la entrada de humedad en el edificio a través de los puntos de contacto con el cerramiento.

Este componente es idéntico al descrito en las Soluciones GEOANC® para fábricas convencionales.





## 8.2 Sistema G.H.A.S.<sup>®</sup> para cerramientos de ladrillo

El Sistema G.H.A.S.<sup>®</sup> para cerramientos de ladrillo resuelve los tipos que, por sus prestaciones, por su forma de sustentación, o por sus dimensiones, sobrepasan el ámbito de aplicación de los sistemas convencionales.

El Sistema G.H.A.S.<sup>®</sup> garantiza tres requisitos fundamentales en los cerramientos:

- **Estabilidad:** frente a acciones gravitatorias y horizontales. Dispone, para ello, de los dispositivos adecuados para transmitir las acciones exteriores que inciden en el cerramiento a los elementos estructurales del edificio (forjados y soportes). Debido al diseño específico de los elementos de conexión, las reacciones que se transmiten son selectivas, y las coacciones a los movimientos están controladas.
- **Resistencia:** frente a los esfuerzos generados en el cerramiento por la transmisión de las acciones, fundamentalmente horizontales, a la estructura del edificio. Casi siempre se trata de esfuerzos de flexión horizontal, que se resisten con armadura de tendel, por lo que se pueden garantizar las condiciones de resistencia mediante el análisis y dimensionado.
- **Funcionalidad:** garantizando las condiciones de servicio relativas al control de fisuración y control higrotérmico.

### 8.2.1 Cerramiento pasante o autoportante

La solución constructiva de este tipo de cerramiento consiste en separar la hoja exterior del mismo de la estructura del edificio para permitir el paso de una cámara continua con aislamiento.

Con esta solución se elimina el conflicto constructivo que supone el encuentro con los forjados y se mejora la eficiencia energética del cerramiento puesto que se pueden eliminar los puentes térmicos de los pasos por soportes y forjados.

El aislamiento térmico se puede alojar en la cámara continua, o se puede colocar junto a la hoja interior del cerramiento; en este caso no se precisa la continuidad de la cámara, y la hoja exterior del cerramiento puede estar tangente a la estructura del edificio.

A su vez, la cámara, tanto si es continua como si queda interrumpida entre los forjados, puede estar ventilada o no. El primer caso corresponde a la solución de "*fachada ventilada*" con materiales tradicionales, que se describirá más adelante.

Aunque el tipo de cerramiento autoportante se incluye dentro de las soluciones avanzadas, lo cierto es que el comportamiento mecánico que le corresponde no difiere demasiado de las soluciones pretendidamente convencionales.

Incluso cuando se utilizan soluciones convencionales de cerramientos confinados entre forjados, la fábrica debe resistir en planta baja el efecto de una posible acumulación de carga; lo cual se produce siempre que los zunchos



son demasiado flexibles y el cerramiento arranca de una solera, viga de cimentación, cabeza de muro de sótano o cualquier elemento muy rígido.

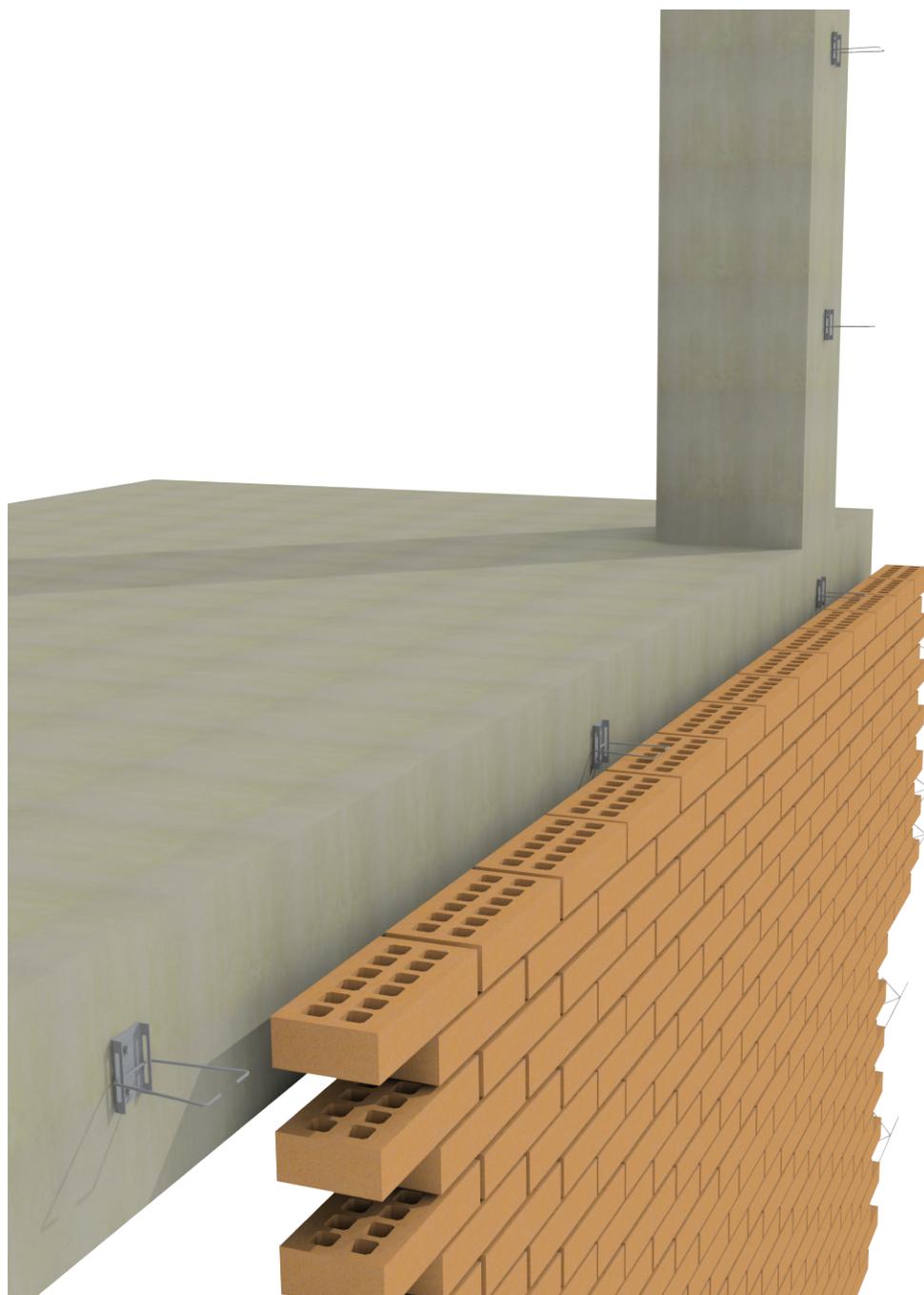
El requisito fundamental del cerramiento pasante es evitar el movimiento de vuelco, que se resuelve con anclajes de retención. Los anclajes constituyen un elemento imprescindible para garantizar la estabilidad, puesto que deben suministrar la totalidad de la reacción correspondiente a las acciones horizontales. Se pueden fijar a los frentes de forjados, a los frentes de soportes o a un muro perimetral exterior.

La resistencia de una fábrica de ladrillo de  $\frac{1}{2}$  pie de espesor, frente a la acción gravitatoria debida al propio peso, incluso incorporando la penalización por pandeo, es suficiente para una altura de más de ocho plantas, con alturas de piso del orden de 3,00 m, siempre que se dispongan anclajes al nivel de los forjados, y se evite el efecto de trasvase de carga de la estructura al cerramiento por diferencia de rigidez.

Para evitar el trasvase de carga es imprescindible que los anclajes a la estructura tengan libertad de movimiento en dirección vertical, por lo que se prescribe el uso de anclajes tipo GEOANC.CDM®.

#### Método de análisis

Cuando se proyectan soluciones de cerramiento autoportante o, en los casos de cerramiento convencional, si existe riesgo de acumulación de carga, además de dimensionar cada paño para resistir la acción horizontal de viento correspondiente a su planta, es preciso realizar una comprobación adicional



de las condiciones de seguridad frente al efecto de la acción gravitatoria.

El estado de sollicitación de cada planta evoluciona, desde la flexión simple en plantas altas (con tensiones de compresión despreciables y, en cualquier caso, favorables), hasta la compresión compuesta, cuya sección más solicitada es la correspondiente al arranque.

El objeto de comprobación de la seguridad frente a la acción de viento es el paño de última planta, con tensión normal de compresión despreciable. El procedimiento se ha indicado en el capítulo de sistemas convencionales.

El objeto de la comprobación adicional de las condiciones resistentes frente a la acción gravitatoria es el paño de la planta de arranque. Las plantas intermedias, si sus características geométricas son similares a las de la última planta no requieren una verificación específica, puesto que puede suponerse válido su comportamiento por tratarse de una situación intermedia entre otras dos verificadas.

La sección de arranque es la más solicitada en un análisis a compresión en primer orden, puesto que debe resistir la totalidad del peso que gravita sobre ella con la máxima excentricidad provocada por la acción de viento considerando el paño como *empotrado* en la base.

Es frecuente encontrar indicaciones acerca de la consideración del grado de empotramiento del paño en los extremos en algunos manuales. Algunos de ellos insisten en suponer el borde extremo inferior *“apoyado”*, lo que implica considerar momento nulo (es decir, libertad total de giro) en la sección

el arranque. No hay nada más contrario a la realidad. Si el arranque se produce en un elemento muy rígido, lo que realmente tiene valor nulo es el giro; por consiguiente, en muros con carga vertical, que descansan sobre un apoyo firme, las condiciones de sustentación que se deben considerar en la base son las correspondientes a *“empotramiento perfecto”*. Para que no quede duda acerca de este matiz, el DB SE-F, en el artículo 5.2 *“Muros sometidos predominantemente a carga vertical”*, apartado 5.2.1 *“Análisis de sollicitaciones”* lo indica de forma explícita. El párrafo 7 dice textualmente: *“A efectos de cálculo, el arranque inferior del muro en la solera, forjado sanitario o zanja, puede considerarse como empotramiento perfecto”*.

Para la comprobación de los efectos de segundo orden (comprobación a *pandeo*) la sección más solicitada es la sección central de la planta inferior. Esta sección tiene algo menos de carga que la sección de arranque, pero en cambio le corresponde la máxima excentricidad adicional por efecto del pandeo; y una vez más es la esbeltez del tramo el parámetro que determina la validez de las condiciones resistentes.

El método de comprobación es análogo al que se utiliza para los muros de carga. Consiste en calcular la máxima sollicitación a esfuerzo normal en la sección central de planta baja, y compararla con la capacidad resistente de la fábrica a compresión, reducida por los efectos de la excentricidad y el pandeo. El procedimiento está detallado pormenorizadamente en el DB SE-F, artículo 5.2.2 *“Capacidad portante”*.

A continuación se detalla el proceso operativo, utilizando como pretexto un

cerramiento autoportante de  $\frac{1}{2}$  de espesor, de diez plantas de altura con anclajes a los frentes de forjado. Se desarrollan dos ejemplos; en el primero se supone que no existen soportes en el plano de fachada, por lo que el modelo de análisis es el correspondiente a *viga vertical* solicitada a compresión compuesta. En el segundo ejemplo se supone el cerramiento anclado en continuidad, tanto a forjados como a soportes de fachada con una luz de cinco metros; en este segundo caso el modelo de análisis es el correspondiente a *placa* con flexión bidireccional combinada con compresión vertical.



**EJEMPLO 9****Cerramiento autoportante anclado a frentes de forjado  
Análisis en primer y segundo orden. Altura 10 plantas**Características geométricas:

- Cerramiento de ladrillo autoportante anclado a frentes de forjado
- Altura libre de planta:  $h = 2,70 \text{ m}$
- Altura desde el arranque a fila de anclajes:  $h_i = 2,85 \text{ m}$
- Número de plantas sobre el arranque: 10 plantas
- Altura total (con cantos de forjado de 30 cm):  $h_{\text{total}} = 30,00 \text{ m}$
- Altura desde la sección central de planta baja:  $h_{\text{cri}} = 28,50 \text{ m}$
- Espesor del muro (1/2 pie formato castellano):  $t = 115 \text{ mm}$

Características mecánicas:

- Resistencia a compresión de la fábrica:  $f_k = 4 \text{ N/mm}^2$  <sup>(1)</sup>
- Valor característico de la acción de viento:  $q_e = 0,8 \text{ kN/m}^2$
- Coeficiente de seguridad de la fábrica:  $\gamma_M = 2,5$
- Coeficiente de seguridad de acciones:  $\gamma_Q = 1,50$  (variables desfavorables)  
 $\gamma_G = 1,35$  (permanentes desfavorables)
- Peso específico de la fábrica:  $\rho = 18 \text{ kN/m}^3$  <sup>(2)</sup>

Análisis:Comprobación de la sección de arranque (en primer orden):

- Esfuerzo normal debido a peso propio:  $N_{\text{Sd}} = \rho \cdot t \cdot h_{\text{total}} \cdot \gamma_G = 83,84 \text{ kN / metro}$
- Momento flector debido a la presión de viento:  $M_{\text{Sd}} = q_e \cdot \gamma_Q \cdot h_i^2 / 12 = 0,812 \text{ m} \cdot \text{kN / metro}$

(Se supone que en el arranque hay empotramiento perfecto según DB SE-F, artículo 5.2.1, párrafo 7)

- Excentricidad en la sección de arranque:  $e_0 = M_{\text{Sd}} / N_{\text{Sd}} = 9,69 \text{ mm}$
- Altura de cálculo del paño:  $h_d = 0,75 \cdot h_i$  (según DB SE-F, 5.2.4) = 2,14 m
- Incremento de excentricidad por ejecución:  $e_a = h_d / 450$  (según DB SE-F, 5.2.3) = 4,75 mm
- Excentricidad total:  $e_{\text{total}} = e_0 + e_a$  (no menor de  $0,05 \cdot t_d$ ) = 14,44 mm
- Factor de reducción por excentricidad:  $\Phi = (1 - 2 \cdot e_{\text{total}} / t)$  (según DB SE-F, 5.2.3) = 0,749
- Capacidad resistente de la sección:  $N_{\text{Rd}} = \Phi \cdot t \cdot f_k / \gamma_M$  (según DB SE-F, 5.2.2) = 137,8 kN / metro
- Comprobación de la capacidad portante:  $N_{\text{Sd}} \leq N_{\text{Rd}}$  (según DB SE-F, 5.2.2)

$$N_{\text{Sd}} = \rho \cdot t \cdot h_{\text{total}} \cdot \gamma_G = 83,84 \text{ kN / metro} < N_{\text{Rd}} = \Phi \cdot t \cdot f_k / \gamma_M = 137,8 \text{ kN / metro. VALE}$$

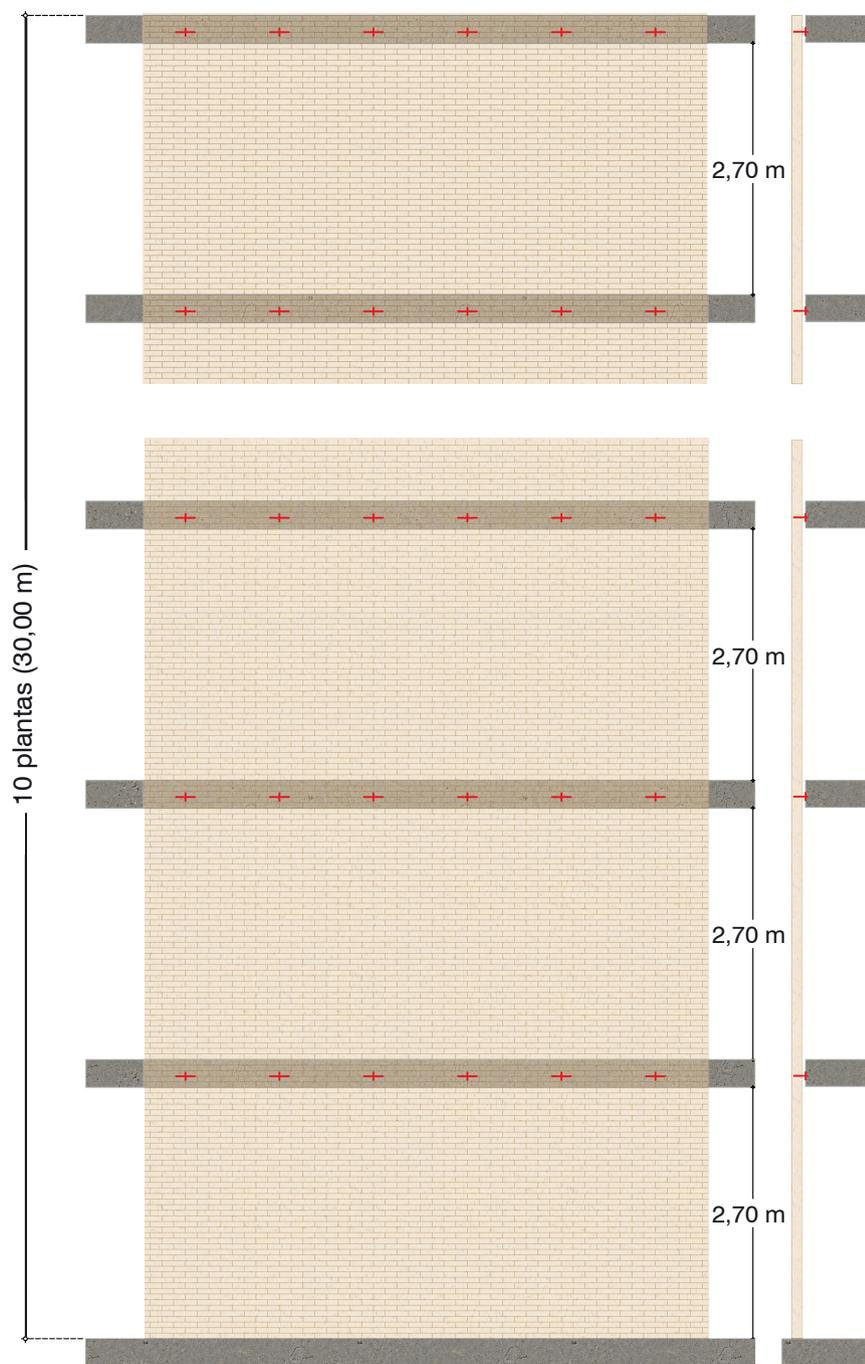
1 Obtenida en el ejemplo 1.

2 Se utilizan los mismos valores del ejemplo 7, excepto el coeficiente de seguridad de la acción gravitatoria. En este caso, como la comprobación es a compresión y pandeo, la acción gravitatoria se considera desfavorable.

*Comprobación de la sección central de planta baja (en segundo orden):*

- Esfuerzo normal debido a peso propio:  $N_{Sd} = \rho \cdot t \cdot h_{cri} \cdot \gamma_G = 79,64 \text{ kN / metro}$
- Momento flector debido a la presión de viento:  $M_{Sd} = q_e \cdot \gamma_Q \cdot h_i^2 / 24 = 0,406 \text{ m}\cdot\text{kN/metro}$   
(Máximo momento de vano de pieza empotrada en continuidad)
- Excentricidad en la sección central:  $e_m = M_{Sd} / N_{Sd} = 5,10 \text{ mm}$
- Incremento de excentricidad por ejecución:  $e_a = h_d / 450$  (según DB SE-F, 5.2.3) = 4,75 mm
- Incremento de excentricidad por pandeo:  $e_p = 0,00035 \cdot t \cdot (h_d / t)^2$  (según DB SE-F, 5.2.3) = 13,9 mm
- Excentricidad total:  $e_{total} = e_m + e_a + e_p = 23,75 \text{ mm}$
- Factor de reducción por excentricidad y esbeltez:  $\Phi_m = (1 - 2 \cdot e_{total} / t)$  (según DB SE-F, 5.2.3) = 0,587
- Capacidad resistente de la sección:  $N_{Rd} = \Phi \cdot t \cdot f_k / \gamma_M$  (según DB SE-F, 5.2.2) = 108,0 kN / metro
- Comprobación de la capacidad portante:  $N_{Sd} \leq N_{Rd}$  (según DB SE-F, 5.2.2)

$$N_{Sd} = \rho \cdot t \cdot h_{cri} \cdot \gamma_G = 79,64 \text{ kN / metro} < N_{Rd} = \Phi \cdot t \cdot f_k / \gamma_M = 108,0 \text{ kN / metro. VALE}$$



En el ejemplo anterior se cumplen las condiciones de seguridad, tanto en primer como en segundo orden, con margen suficiente. La variable fundamental que condiciona la validez de la solución es la esbeltez de cada planta. Con altura libre de 2,70 m, en planta baja la esbeltez es de 18,6. Si la planta baja tuviera una altura libre igual o superior a 4,00 m, la esbeltez superaría el valor límite permitido (27), por lo que habría que recurrir a elementos de rigidización transversal que, en ese caso, serían imprescindibles para reducir la altura de pandeo del muro.

En el siguiente ejemplo se supone que la altura libre de planta baja es de 5,00 m y la rigidización transversal necesaria se consigue con anclajes GEOANC.CDM® a los soportes de fachada o a perfiles verticales auxiliares. Se mantiene la altura total de diez plantas.

## EJEMPLO 10

### Cerramiento autoportante anclado a soportes y frentes de forjado Análisis en primer y segundo orden. Altura 10 plantas. Luz entre soportes 5,00 m

#### Características geométricas:

- Paño sustentado en cuatro bordes con laterales en continuidad (DB SE-F tabla G.3)
- Luz entre soportes:  $L = 5,00 \text{ m}$
- Altura libre de planta tipo:  $h = 2,70 \text{ m}$
- Altura libre de planta baja:  $h_o = 5,00 \text{ m}$
- Altura desde el arranque a fila de anclajes:  $h_i = 5,15 \text{ m}$
- Número de plantas sobre el arranque: 10 plantas
- Altura total (con cantos de forjado de 30 cm):  $h_{\text{total}} = 32,30 \text{ m}$
- Altura desde la sección central de planta baja:  $h_{\text{cri}} = 29,65 \text{ m}$
- Espesor del muro ( $1/2$  pie formato castellano):  $t = 115 \text{ mm}$

3 Obtenida en el ejemplo 1.

4 Valores obtenidos de la tabla 4.6 "Resistencia a flexión de la fábrica" del DB SE-F.

5 Según DB SE tabla 4.1 "Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ ) para las acciones". La carga gravitatoria se considera favorable en el análisis a flexión y desfavorable en el análisis a compresión y pandeo.

362

#### Características mecánicas:

- Resistencia a compresión de la fábrica:  $f_k = 4 \text{ N/mm}^2$  <sup>(3)</sup>
- Resistencia a flexión paralela los tendeles:  $f_{xk1} = 0,10 \text{ N/mm}^2$
- Resistencia a flexión perpendicular a los tendeles:  $f_{xk2} = 0,40 \text{ N/mm}^2$  <sup>(4)</sup>
- Módulo resistente por unidad de longitud / altura:  $Z_1 = Z_2 = t^2 / 6 = 2204 \text{ mm}^2 \cdot \text{m} / \text{metro}$
- Valor característico de la acción de viento:  $q_e = 0,8 \text{ kN/m}^2$
- Coeficiente de seguridad de la fábrica:  $\gamma_M = 2,5$
- Coeficiente de seguridad de acciones:  $\gamma_Q = 1,50$  (variables desfavorables)  
 $\gamma_G = 0,8$  (permanentes favorables)  
 $\gamma_G = 1,35$  (permanentes desfavorables) <sup>(5)</sup>
- Peso específico de la fábrica:  $\rho = 18 \text{ kN/m}^3$



Análisis a flexión:

- Tensión normal debida a peso propio (a media altura):  $\sigma_d = \rho \cdot \gamma_G \cdot h_{cri}$  (con  $\gamma_a = 0,8$ ) = 0,427 N/mm<sup>2</sup>
- Capacidad resistente a flexión vertical:  $M_{Rd1} = Z_1 \cdot (f_{xk1} / \gamma_M + \sigma_d)$  = 1,029 m·kN/metro
- Capacidad resistente a flexión horizontal:  $M_{Rd,2} = Z_2 \cdot f_{xk2} / \gamma_M$  = 0,353 m·kN/metro
- Razón entre resistencias:  $\mu = M_{Rd1} / M_{Rd2}$  = 2,92
- Razón entre dimensiones:  $h_i / L$  = 1,03
- Coeficiente de flexión (extrapolando en DB SE-F tabla G.3):  $\alpha$  = 0,0116

- Valor de cálculo del momento flector vertical:

$$M_{Sd1} = \mu \cdot \alpha \cdot q_e \cdot \gamma_Q \cdot L^2 = 2,92 \cdot 0,0116 \cdot 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,50 \cdot (5,00 \text{ m})^2 = 1,011 \text{ m} \cdot \text{kN} / \text{metro de longitud}$$

- Valor de cálculo del momento flector horizontal:

$$M_{Sd2} = \alpha \cdot q_e \cdot \gamma_Q \cdot L^2 = 0,0116 \cdot 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,50 \cdot (5,00 \text{ m})^2 = 0,347 \text{ m} \cdot \text{kN} / \text{metro de altura}$$

- Comprobación de resistencia:

$$M_{Sd1} = 1,011 \text{ m} \cdot \text{kN} / \text{metro} < M_{Rd1} = 1,029 \text{ m} \cdot \text{kN} / \text{metro. VALE}$$

$$M_{Sd2} = 0,347 \text{ m} \cdot \text{kN} / \text{metro} < M_{Rd2} = 0,353 \text{ m} \cdot \text{kN} / \text{metro. VALE}$$

Análisis a compresión:Comprobación de la sección de arranque (en primer orden):

- Esfuerzo normal debido a peso propio:  $N_{Sd} = \rho \cdot t \cdot h_{total} \cdot \gamma_G$  (con  $\gamma_G = 1,35$ ) = 90,26 kN/metro
- Momento flector debido a la presión de viento:  $M_{Sd1} =$  = 1,011 m·kN/metro  
(Valor obtenido en el análisis a flexión)
- Excentricidad en la sección de arranque:  $e_0 = M_{Sd1} / N_{Sd}$  = 11,2 mm
- Altura de cálculo del paño (según DB SE-F, Anejo E):  $h_d = 0,75 \cdot h_i / [1 + (0,75 \cdot h_i / L)^2]$  = 2,42 m
- Incremento de excentricidad por ejecución:  $e_a = h_d / 450$  (según DB SE-F, 5.2.3) = 5,38 mm
- Excentricidad total:  $e_{total} = e_0 + e_a$  (no menor de  $0,05 \cdot t_d$ ) = 16,58 mm
- Factor de reducción por excentricidad:  $\Phi = (1 - 2 \cdot e_{total} / t)$  (según DB SE-F, 5.2.3) = 0,712
- Capacidad resistente de la sección:  $N_{Rd} = \Phi \cdot t \cdot f_k / \gamma_M$  (según DB SE-F, 5.2.2) = 131,0 kN/metro
- Comprobación de la capacidad portante:  $N_{Sd} \leq N_{Rd}$  (según DB SE-F, 5.2.2)

$$N_{Sd} = \rho \cdot t \cdot h_{total} \cdot \gamma_G = 90,26 \text{ kN} / \text{metro} < N_{Rd} = \Phi \cdot t \cdot f_k / \gamma_M = 131,0 \text{ kN} / \text{metro. VALE}$$

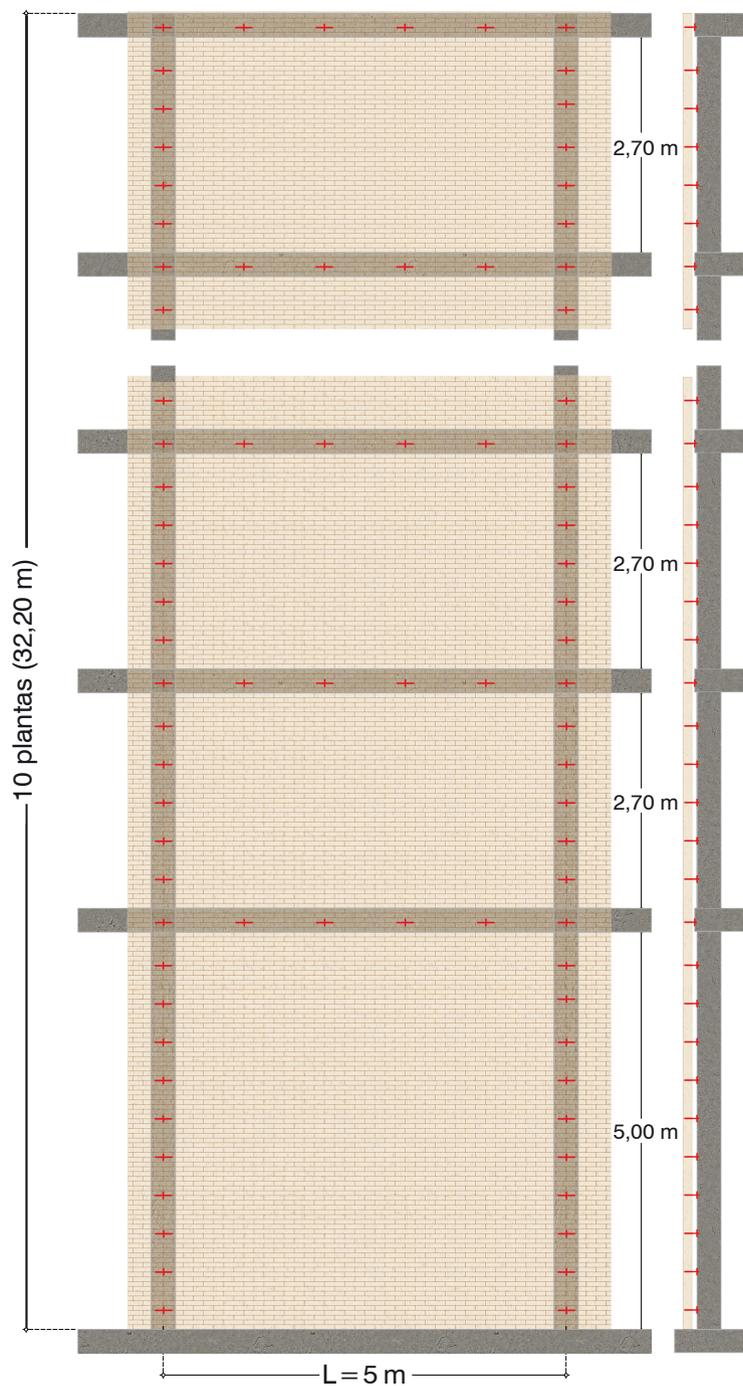
*Comprobación de la sección central de planta baja (en segundo orden):*

- Esfuerzo normal debido a peso propio:  $N_{Sd} = \rho \cdot t \cdot h_{cri} \cdot \gamma_G$  (con  $\gamma_G = 1,35$ ) = 82,86 kN/metro
- Momento flector debido a la presión de viento:  $M_{Sd1} =$  = 1,011 m·kN/metro  
(Valor obtenido en el análisis a flexión)
- Excentricidad en la sección central:  $e_m = M_{Sd} / N_{Sd}$  = 12,2 mm
- Incremento de excentricidad por ejecución:  $e_a = h_d / 450$  (según DB SE-F, 5.2.3) = 5,38 mm
- Incremento de excentricidad por pandeo:  $e_p = 0,00035 \cdot t \cdot (h_d / t)^2$  (según DB SE-F, 5.2.3) = 17,8 mm
- Excentricidad total:  $e_{total} = e_m + e_a + e_p$  = 35,38 mm
- Factor de reducción por excentricidad y esbeltez:  $\Phi_m = (1 - 2 \cdot e_{total} / t)$  (según DB SE-F, 5.2.3) = 0,385
- Capacidad resistente de la sección:  $N_{Rd} = \Phi \cdot t \cdot f_k / \gamma_M$  (según DB SE-F, 5.2.2) = 70,78 kN/metro
- Comprobación de la capacidad portante:  $N_{Sd} \leq N_{Rd}$  (según DB SE-F, 5.2.2)

$$N_{Sd} = \rho \cdot t \cdot h_{cri} \cdot \gamma_G = 82,86 \text{ kN/metro} > N_{Rd} = \Phi \cdot t \cdot f_k / \gamma_M = 70,78 \text{ kN/metro. NO VALE}$$

- Capacidad resistente con  $f_k = 5 \text{ N/mm}^2$ :  $N_{Rd} = 0,385 \cdot 115 \text{ mm} \cdot 5 \text{ N/mm}^2 / 2,50$  = 88,48 kN/metro
- Comprobación de la capacidad portante:  $N_{Sd} = 82,86 \text{ kN/metro} < N_{Rd} = 88,48 \text{ kN/metro. VALE}$





En el último ejemplo la comprobación a resistencia es conforme para un valor de resistencia a compresión  $f_k$  igual o superior a  $5 \text{ N/mm}^2$  que, según el DB SE-F, tabla 4.4 “Resistencia característica a la compresión de fábricas usuales” se puede obtener utilizando piezas de resistencia normalizada a compresión  $f_b = 15 \text{ N/mm}^2$  y mortero M7,5.

Para los valores mínimos de resistencia de los materiales y disponiendo rigidización transversal cada 5,00 m aproximadamente, el límite para un correcto funcionamiento cuando el cerramiento debe comportarse como autoportante, se decanta en torno a las ocho plantas, incluso para una altura de la planta baja importante. Si se utiliza armadura GEOFOR® y se contabiliza en el análisis, se puede llegar holgadamente hasta diez plantas. Las comprobaciones en este sentido hay que hacerlas cuando la altura total del edificio esté en torno a estos valores. En el resto de los casos la comprobación se puede omitir.

La comprobación a flexión debida a la acción de viento, en la peor situación, corresponde a la última planta. En este caso, la acción gravitatoria por peso propio es despreciable. El modelo de análisis es el de placa a flexión bidireccional, idéntico al descrito en la sección de “Requisitos”.

### 8.2.2 Edificios en altura. Soluciones de apoyo

Cuando se proyecta un cerramiento continuo sobre un elemento muy rígido no se puede evitar la acumulación de la carga gravitatoria en la sección del arranque. En los edificios de un elevado número de plantas (superior a ocho o diez, en función del resto de los parámetros), el requisito de seguridad estructural a compresión con pandeo puede exigir resistencias elevadas de los materiales o limitar las dimensiones de los paños de la planta inferior.

En estas situaciones puede ser rentable interrumpir la continuidad del cerramiento en altura. Sin embargo, esta circunstancia no supone la necesidad de renunciar a la solución de cerramiento autoportante. Se indican a continuación dos propuestas alternativas para resolver los casos en los que es preciso limitar la carga gravitatoria en la planta de arranque. La elección entre una u otra depende sustancialmente de las condiciones de diseño de la fachada y del aspecto exterior que se desee conseguir.

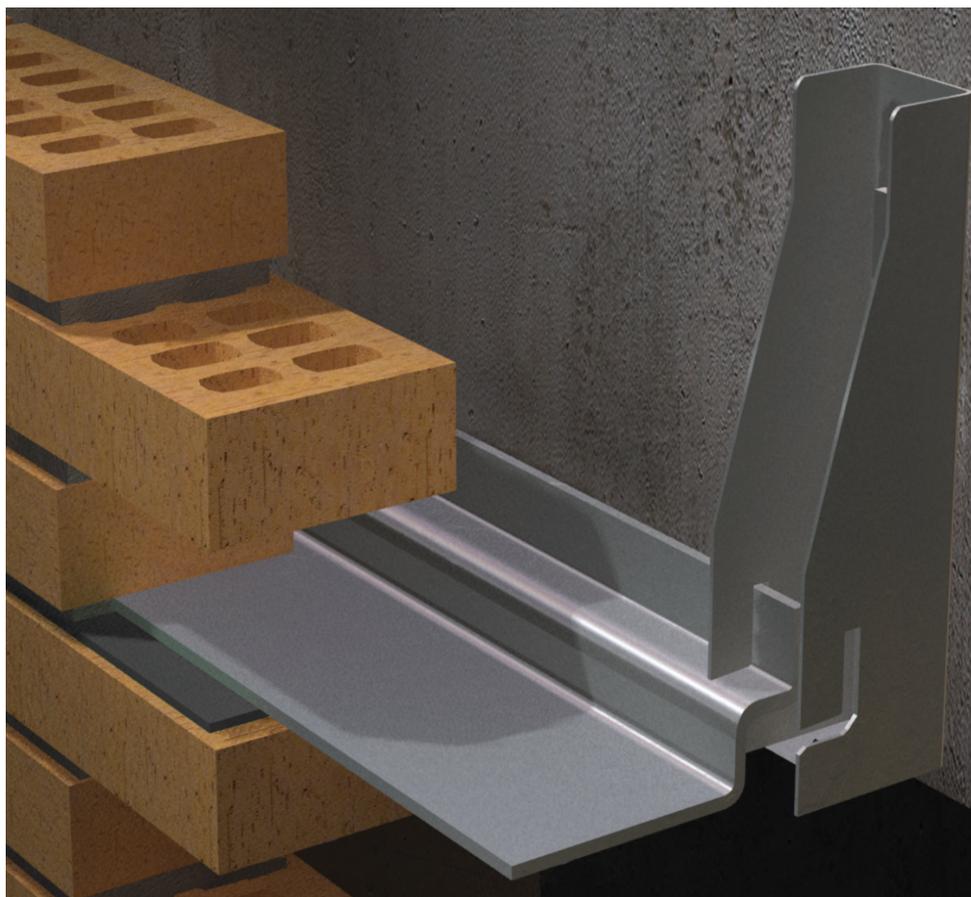
#### Solución de apoyo sobre forjado de planta intermedia

El procedimiento más sencillo y directo para resolver un cerramiento autoportante de un edificio con más de ocho o diez plantas de altura, y el que menos recursos adicionales consume, consiste en prever, además del apoyo en el arranque, otro apoyo adicional en el forjado de una planta intermedia.

Este procedimiento requiere dimensionar el elemento de borde del forjado correspondiente con la suficiente rigidez para considerar *apoyo firme* en el tramo de muro que sustenta. Se recuerda aquí que la condición de rigidez supone limitar la flecha a 1/1000 de la luz.

La solución es muy económica puesto que no exige ningún dispositivo adicional de apoyo para el cerramiento, puesto que se utiliza para ello uno de los forjados del edificio; basta con replantear la tabica del borde en la posición adecuada para que el cerramiento descansa directamente sobre él, que es la forma más natural y segura de transmisión de cargas. Tiene como contrapartida que se debe resolver el encuentro con el forjado en la planta intermedia de forma similar a lo indicado para los cerramientos convencionales, con las prescripciones que ello supone.

Si se desea conseguir un aspecto de continuidad del cerramiento, el apoyo en la planta intermedia no puede ser total. El muro debe apoyar parcialmente para reservar el espacio correspondiente al aplacado del frente del forjado. Un apoyo parcial supone



reducir la capacidad resistente a compresión y esta circunstancia puede limitar el comportamiento mecánico a dimensiones geométricas notablemente inferiores a las utilizadas en los ejemplos analizados.

Por ello esta solución es recomendable sólo en los casos en los que el excedente de altura total es ligeramente superior al máximo determinado por cálculo. Por ejemplo, si el edificio tiene doce plantas y, por cálculo a compresión el cerramiento puede llegar hasta nueve plantas, la solución consiste en construir las nueve primeras plantas continuas sobre el arranque, y las tres restantes construirlas sobre el forjado de la planta novena, que llevará el correspondiente aplacado en el frente.

El encuentro del forjado con el cerramiento en la planta intermedia se resuelve con mayor facilidad sin disminuir la capacidad resistente de la fábrica, si apoya la sección completa del muro. En este caso no es posible conseguir el aspecto de continuidad del cerramiento en toda su altura, por lo que se debe incorporar esta circunstancia en el diseño de la fachada, utilizando en la composición recursos tales como una cornisa o imposta. La contrapartida es la extraordinaria economía de la solución.

### Solución de apoyo sobre ANCON ÓPTIMA®

La solución alternativa al apoyo directo en el forjado, cuando se desea mantener la posición del cerramiento tangente a la estructura, consiste en sustentarlo en un elemento auxiliar que transporte la carga al forjado cada un cierto número de plantas<sup>7</sup>.

También en este caso, el requisito fundamental del elemento estructural que actúa de soporte se refiere a su rigidez. El recurso que parece más inmediato es utilizar, como elemento auxiliar interpuesto, un perfil angular continuo recibido con tacos al forjado. Sin embargo, este procedimiento, además de costoso, resulta ineficaz cuando se trata de sostener tramos de altura correspondiente a una planta completa, a menos que los perfiles tuvieran un canto exageradamente grande en relación con su luz. Un perfil de acero puede ser muy resistente, pero no puede competir en rigidez con un paño de fábrica de una o más plantas de altura. Si la flecha del perfil que sirve de sostén a un paño de fábrica es de un orden de magnitud superior a la flecha del propio paño, el apoyo en la zona central del vano no llega a producirse. En el mejor de los casos, sólo funciona eficazmente como apoyo propiamente dicho la zona de angular que esté próxima a los tacos.

Para conseguir que todo el angular sea eficaz en el transporte de carga es fundamental disponer los tacos o puntos de conexión al forjado a distancias relativamente cortas; pero en este caso, aunque la luz de flexión del angular se reduzca todo lo deseable, es imposible evitar que acompañe al forjado en su

6 En este caso la palabra “apoyo” indica la función estructural que debe tener el elemento interpuesto. Ahora, si se trata de “sostener” el cerramiento, en el sentido literal de la palabra; a diferencia de la “entrega” requerida cuando se trata de “agarrar” para evitar el vuelco en los casos de soluciones convencionales.

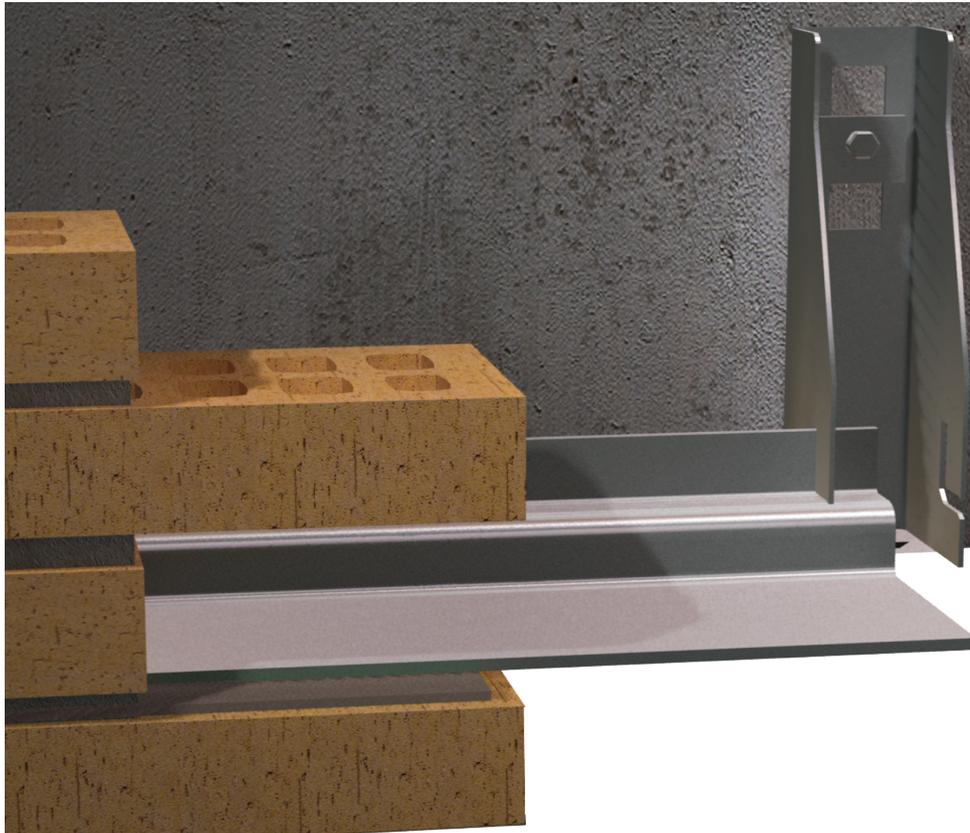
7 El análisis determinará el número máximo de plantas entre apoyos, aunque constructivamente no es operativo pasar de dos porque, para mayor peso, el tamaño de la junta requerida entre cada tramo sería excesivamente grande.

deformación. El aumento de rigidez del sistema sólo se consigue aumentando la rigidez del propio forjado. El paño de fábrica jamás podrá “sustentarse” en un angular flectado; por el contrario, si no se toman las debidas precauciones para evitar el contacto físico, es muy probable que acabe siendo el forjado el que se “sustente” en el paño de fábrica inferior mediante el angular interpuesto, produciendo el efecto contrario al que se desea conseguir.

Desde el punto de vista de la rigidez, un paño de cerramiento sustentado en un elemento deformable se comporta como una viga de gran canto, por eso tiene poca eficacia utilizar una viga, aunque sea metálica, para apoyar otra viga de rigidez mucho mayor. Solamente la sustentación en elementos muy rígidos, como puede ser una zapata corrida de cimentación, una soleira o la cabeza de un muro de sótano, pueden considerarse verdaderos “apoyos” para un paño de fábrica de cierta entidad, los cuales, por tener impedida su deformación, pueden desarrollar la reacción continua correspondiente.

Si el cerramiento, desde el punto de vista de su posibilidad de deformación, se comporta como una viga de gran canto, el recurso más rentable es habilitar un funcionamiento en viga también desde el punto de vista resistente. Para ello, basta con incorporar en el muro la armadura de tracción necesaria. Una pequeña cuantía de armadura dispuesta en las primeras hiladas suele ser suficiente.

Aparte de la armadura de tracción, el paño de fábrica sólo precisa, como cualquier viga, puntos discontinuos de apoyo, resultando innecesaria la presencia del perfil auxiliar entre ellos.



De esta forma, con una mínima parte del acero que se puede ahorrar en el perfil innecesario, incorporándolo en el interior de la fábrica con la función de armadura de tracción, se consigue un aumento enorme del rendimiento mecánico de la solución. Y, lo que es incluso más importante, se habilita un funcionamiento estructural compatible en todo momento con las posibilidades de deformación del elemento de fábrica, evitando el riesgo de fisuración.

La distancia máxima a la que se pueden disponer los aparatos auxiliares de apoyo determina decisivamente el coste unitario de la solución. Desde el

punto de vista del rendimiento de los elementos de acero, siempre es rentable concentrar carga, y la solución más económica sería la que conduce al menor número de apoyos posible. Sin embargo, cuando se trata de aplicar este criterio a la solución que estamos analizando, existe una fuerte restricción a la luz entre apoyos impuesta por razones de estabilidad del propio paño de fábrica cuando funciona como viga.

En este sentido, el DB SE-F en el artículo 5.6 "Fábrica armada a flexión" indica las pautas para determinar, tanto las sollicitaciones, como la capacidad resistente de un paño de fábrica sustentado en apoyos puntuales. En el apartado 5.6.1 "Análisis de sollicitaciones", párrafo 6, se explicitan las limitaciones de las dimensiones geométricas del paño para asegurar la estabilidad lateral. Este requisito limita la distancia libre entre apoyos al menor de los dos valores siguientes:

- $L \leq 60 \cdot b_c$
- $L \leq 250 \cdot b_c^2 / d$

siendo:

- $L \rightarrow$  la distancia libre entre apoyos
- $b_c \rightarrow$  el ancho de la sección comprimida a mitad del vano (espesor del muro)
- $d \rightarrow$  el canto útil de la viga (aproximadamente la altura del paño)

Es importante destacar que la limitación de la distancia máxima entre apoyos es una limitación geométrica, y no depende de las características

resistentes de los materiales ni de la cuantía de la armadura de tendel. Se trata de prevenir un fenómeno de inestabilidad lateral por pandeo de la zona comprimida del muro, que no depende de ningún parámetro resistente.

Para un cerramiento de 1/2 pie de espesor, la condición anterior conduce a los siguientes valores de luz máxima entre apoyos:

- Paño de 1 planta → (altura 3,00 m)  
→ Luz máxima entre apoyos 1,10 m
- Paño de 2 plantas → (altura 6,00 m)  
→ Luz máxima entre apoyos 0,55 m
- Paño de 3 plantas → (altura 9,00 m)  
→ Luz máxima entre apoyos 0,37 m

De lo anterior se deduce que la solución de sostener un muro de fábrica armada a flexión en apoyos discontinuos es viable para una altura máxima de una o dos plantas, con apoyos dispuestos en torno a 1,00 m o 0,50 m respectivamente.

Los apoyos ANCON ÓPTIMA® están diseñados para posibilitar su disposición cada dos plantas. Se componen del aparato de apoyo propiamente dicho que se fija en el forjado cada 0,50 m y queda alojado en el espacio reservado para la cámara de aire del cerramiento. El dispositivo se fabrica en diferentes anchos para que se pueda utilizar con un espesor de cámara comprendido entre 60 mm y 100 mm. Es regulable en las tres direcciones del espacio para ajustarse a cualquier replanteo de tendeles y a la posición exacta de la línea exterior de la fachada, con independencia de las irregularidades que pueda tener el frente del forjado.

Se complementan con una bandeja de 0,50 m de longitud que se ajusta manualmente entre los dispositivos de apoyo y sirve para sostener la primera hilada cuando se ejecuta el paño, evitando en todo momento el contacto físico con el paño de la planta inferior. Es importante resolver la junta a posteriori, una vez haya fraguado la fábrica, para tener la certeza que no se produce una indeseable acumulación de carga hacia los apoyos de plantas inferiores.

Conviene destacar que la bandeja que complementa a los aparatos de apoyo ANCON ÓPTIMA® sólo tiene una función de sostén, a modo de encofrado perdido, mientras se ejecuta el muro. El mecanismo de transporte de carga hacia los apoyos, una vez transcurrido el período de fraguado, se realiza a través de la propia fábrica trabajando como viga con la armadura de tracción necesaria alojada en las primeras hiladas. La bandeja se podría omitir, de la misma manera que se ha indicado para el angular estándar, aunque desde el punto de vista operativo no resulta rentable hacerlo puesto que, como contrapartida, habría que tener apeado el muro, al menos catorce días, hasta conseguir que se habilite el mecanismo resistente.

### 8.2.3 Huecos corridos horizontales

La configuración de huecos corridos en horizontal supone interrumpir la continuidad vertical de la fachada. Esta circunstancia tiene una importante repercusión en el análisis por dos razones fundamentales. En primer lugar no es posible utilizar el efecto beneficioso que supone en la mayoría de los casos la carga gravitatoria acumulada de todo el peso del cerramiento, puesto que la interrupción que suponen los huecos implica la necesidad de descargar el peso planta a planta; en segundo lugar, no es posible contar con la sustentación en cabeza de los antepechos, lo que supone una penalización importante a la hora de calcular las sollicitaciones de los paños.

La solución estructural difiere ligeramente si se trata de fachadas sustentadas en los forjados respecto a la utilizada en el caso de cerramientos pasantes por delante de la estructura.

En ambas situaciones se precisa un elemento estructural de descarga o dintel y un sistema de retención frente a las acciones horizontales. Si se trata de una fachada sustentada en forjados, sólo hay que descargar en el dintel el faldón comprendido entre el borde superior del hueco y el forjado. Si se trata de una fachada pasante, la descarga se debe hacer para el paño completo entre huecos, incluido el antepecho. El sistema de retención frente a acciones horizontales es prácticamente el mismo; en ambos casos es imprescindible contar con la presencia de soportes o elementos verticales para conseguir la reacción necesaria.

El análisis estructural demanda mayor capacidad resistente a flexión de la fábrica respecto a la necesaria para

paños ciegos o con huecos puntuales, por las razones expuestas anteriormente. Sin embargo, el principal requisito del análisis estructural es conseguir limitar los movimientos del muro, fundamentalmente la tendencia al vuelco o “cabeceo”, puesto que la pérdida de la verticalidad de los paños, por insignificante que sea, constituye un fenómeno irreversible y progresivo.

En las fachadas con huecos corridos en horizontal, por tratarse de una sucesión de entrepaños sueltos en cabeza, la pérdida de la verticalidad se debe fundamentalmente al giro de la sección de apoyo en el dintel.

La forma más eficaz de evitar el giro en la sección de apoyo consiste en actuar en el origen, es decir, impedir la torsión del cargadero. Esto se consigue fácilmente utilizando como tirantes o dispositivos de cuelgue elementos con rigidez a flexión, en lugar de tirantillas o redondos suspendidos que, si bien pueden transmitir la carga, no pueden impedir el giro del dintel. El objeto fundamental del análisis en estos casos es, por una parte, limitar debidamente la deformación o flecha del dintel y, por otra evitar el giro de la sección apoyo. Además, no hay que perder de vista que la interrupción de la continuidad vertical del cerramiento supone disminuir sus condiciones de sustentación, por lo que es necesario un estudio más minucioso de la estabilidad y resistencia, que el requerido para las soluciones convencionales.

Frente a la acción gravitatoria, debido a que el entrepaño entre huecos no tiene coaccionado el movimiento en cabeza, es imprescindible para su estabilidad un ancho de apoyo suficientemente

holgado con objeto de que la vertical, desde el centro de gravedad del muro, caiga dentro de la base de sustentación. En este caso, la esbeltez no es la variable que condiciona la estabilidad, sino el ancho de apoyo referido al ancho total del muro, sea cual sea su altura. Para esta situación, tiene sentido la recomendación de algunos manuales al uso, de disponer un ancho de apoyo igual o superior a los 2/3 del ancho total<sup>8</sup>.

Frente a la acción de viento, el cerramiento con huecos corridos en horizontal, aun en el caso de que esté sustentado en los forjados, no puede funcionar en arco, puesto que no existe la reacción correspondiente en uno de los extremos. El único modelo estructural posible es el de placa sustentada en tres bordes. El tipo de esfuerzo que se origina en el traslado de fuerzas a los bordes coaccionados sigue siendo el de flexión bidireccional, en mayor o menor medida, según las dimensiones del paño.

Si también se reduce o se destruye la reacción horizontal en la base del muro, por la interposición de una barrera antihumedad, por ejemplo, el esfuerzo degenera en flexión unidireccional; de manera que el cerramiento se comporta, ante la acción de viento, como una viga entre soportes, a flexión horizontal.

En cualquier caso, la presencia de un borde libre en cabeza, hace imprescindible para la estabilidad del cerramiento la existencia de soportes o, en su defecto, de elementos verticales resistentes a flexión, denominados genéricamente “windpost”.

A continuación se expone el método de análisis y comprobación que co-

rresponde a cada uno de los casos descritos, utilizando como pretexto un caso de cerramiento de proporciones geométricas similares al utilizado para explicar el comportamiento de los cerramientos convencionales.

En los dos casos que se analizan, se supone que el cerramiento pasa por delante de los soportes manteniendo todo su espesor, y que la conexión se realiza mediante anclajes tipo GEOANC.CDM®; si hubiera que disponer “windpost” intercalados, éstos irían alojados, bien en la cámara de aire, o bien en los bordes de forjados; pero, en cualquier caso, sin interrumpir la continuidad horizontal en la sustentación.



**EJEMPLO 11**

**Cerramiento apoyado en forjados con huecos corridos en horizontal**  
**Cálculo del antepecho. Altura 1,10 m. Luz entre soportes 5,00 m**  
**Solución G.H.A.S.® con armadura de TENDEL GEOFOR®**  
**y anclajes GEOANC.CDM®**

Características geométricas:

- Paño sustentado en tres bordes con laterales en continuidad (DB SE-F, tabla G.1)
- Luz entre soportes:  $L = 5,00 \text{ m}$
- Altura libre de planta:  $h = 2,70 \text{ m}$
- Altura del antepecho:  $h_0 = 1,10 \text{ m}$
- Altura del hueco:  $h_1 = 1,20 \text{ m}$
- Altura del dintel:  $h_2 = 0,40 \text{ m}$
- Altura de cálculo del paño:  $h_d = h_0 + (0,5 \cdot h_1) = 1,70 \text{ m}^{(9)}$
- Espesor del muro (1/2 pie formato castellano):  $t = 115 \text{ mm}$
- Armadura de tendel (GEOFOR® 4080/GF):  $\Phi 4 \text{ mm}$  cada 0,48 m

Características mecánicas:

- Resistencia a compresión de la fábrica:  $f_k = 4 \text{ N/mm}^2$  (10)
- Resistencia a flexión paralela a los tendeles:  $f_{xk1} = 0,10 \text{ N/mm}^2$  (11)
- Módulo resistente por unidad de longitud:  $Z_1 = t^2 / 6 = 2204 \text{ mm}^2 \cdot \text{m} / \text{metro}$
- Cuantía de la armadura de tendel ( $\Phi 4$  cada 0,48 m):  $A_s = 26,18 \text{ mm}^2 / \text{metro}$
- Resistencia a tracción de la armadura:  $f_{yk} = 600 \text{ N/mm}^2$  (12)
- Brazo mecánico de la armadura:  $z_s = 80 \text{ mm}$
- Valor característico de la acción de viento:  $q_e = 0,8 \text{ kN/m}^2$  (13)
- Coeficiente de seguridad de la fábrica:  $\gamma_M = 2,5$
- Coeficiente de seguridad de la armadura:  $\gamma_s = 1,15$
- Coeficiente de seguridad de acciones:  $\gamma_Q = 1,50$  (variables desfavorables)
- $\gamma_G = 0,8$  (permanentes favorables) (14)
- Peso específico de la fábrica:  $\rho = 18 \text{ kN/m}^3$

8 Para que la vertical desde el centro de gravedad del muro caiga dentro de la base de sustentación sería suficiente que el apoyo fuera superior a la mitad del espesor. La condición de apoyo superior a 2/3 del espesor es para no superar el núcleo central de inercia de la sección de arranque y conseguir con ello que todo el muro resulte comprimido frente a la acción de su propio peso.

9 Repercutiendo la mitad del hueco sobre el antepecho.

10 Obtenida en el ejemplo 1.

11 Valor obtenido de la tabla 4.6 "Resistencia a flexión de la fábrica" del DB SE-F.

12 La armadura GEOFOR® tiene una resistencia garantizada a tracción de 600 N/mm<sup>2</sup>.

13 Valor utilizado en los ejemplos anteriores.

14 Según DB SE tabla 4.1 "Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ ) para las acciones". La carga gravitatoria se considera favorable en el análisis a flexión por viento.

### Análisis a flexión:

- Tensión normal debida a peso propio (en base):  $\sigma_d = \rho \cdot \gamma_G \cdot h_0 = 0,0158 \text{ N/mm}^2$
- Capacidad resistente a flexión vertical:  $M_{Rd1} = Z_1 \cdot (f_{yk1} / \gamma_M + \sigma_d) = 0,123 \text{ m}\cdot\text{kN} / \text{metro}$
- Capacidad resistente a flexión horizontal:  $M_{Rd2} = A_s \cdot f_{yk} \cdot z_s / \gamma_s = 1,093 \text{ m}\cdot\text{kN} / \text{metro}$
- Razón entre resistencias:  $\mu = M_{Rd1} / M_{Rd2} = 0,113$
- Razón entre dimensiones:  $h_d / L = 0,34$
- Coeficiente de flexión (DB SE-F tabla G.1):  $\alpha = 0,0360$

- Valor de cálculo del momento flector vertical:

$$M_{Sd1} = \mu \cdot \alpha \cdot q_e \cdot \gamma_Q \cdot L^2 = 0,113 \cdot 0,0360 \cdot 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,50 \cdot (5,00 \text{ m})^2 = 0,122 \text{ m}\cdot\text{kN} / \text{metro de longitud}$$

- Valor de cálculo del momento flector horizontal:

$$M_{Sd2} = \alpha \cdot q_e \cdot \gamma_Q \cdot L^2 = 0,0360 \cdot 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,50 \cdot (5,00 \text{ m})^2 = 1,079 \text{ m}\cdot\text{kN} / \text{metro de altura}$$

- Comprobación de resistencia:

$$M_{Sd1} = 0,122 \text{ m}\cdot\text{kN/metro} < M_{Rd1} = 0,123 \text{ m}\cdot\text{kN/metro. VALE}$$

$$M_{Sd2} = 1,079 \text{ m}\cdot\text{kN/metro} < M_{Rd2} = 1,093 \text{ m}\cdot\text{kN/metro. VALE}$$

### **Cálculo del dintel. Altura 0,40 m. Luz entre soportes 5,00 m Solución con perfil LPN 100.10 recibido en frentes de soportes**

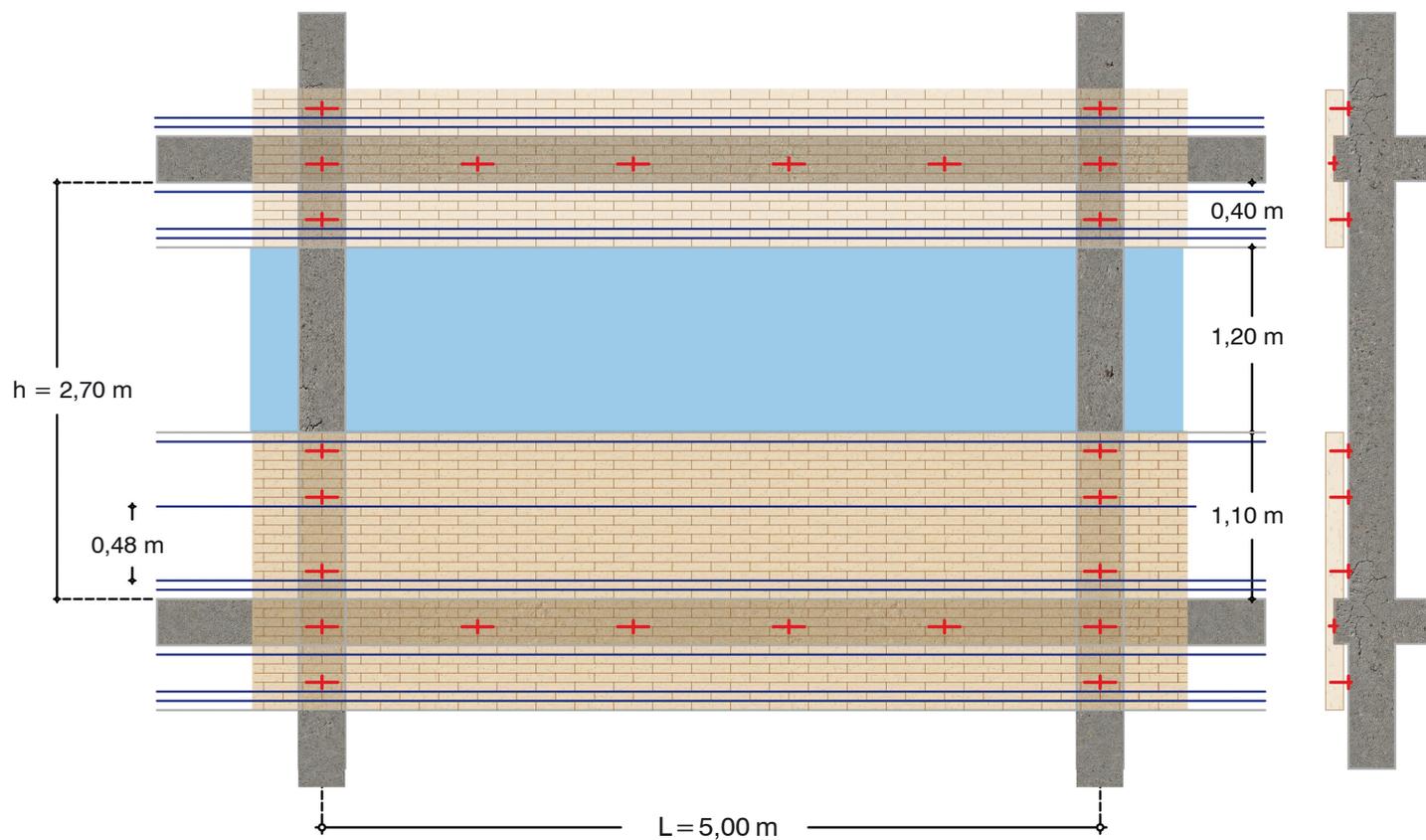
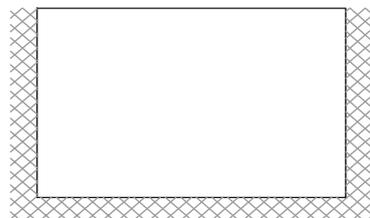
#### Características geométricas:

- Altura del paño que carga sobre perfil:  $h = 0,40 \text{ m}$
- Luz entre soportes:  $L = 5,00 \text{ m}$
- Tipo de sustentación del perfil: En continuidad al paso por soportes
- Espesor del muro (1/2 pie formato castellano):  $t = 115 \text{ mm}$



Tabla G.1

$\mu$	h/L								
	0,3	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	
1	0,013	0,021	0,029	0,035	0,040	0,043	0,045	0,047	
0,9	0,014	0,022	0,031	0,036	0,040	0,043	0,046	0,048	
0,8	0,015	0,023	0,032	0,038	0,041	0,044	0,047	0,048	
0,7	0,016	0,025	0,033	0,039	0,043	0,045	0,047	0,049	
0,6	0,017	0,026	0,035	0,040	0,044	0,046	0,048	0,050	
0,5	0,018	0,028	0,037	0,042	0,045	0,048	0,050	0,051	
0,4	0,020	0,031	0,039	0,043	0,047	0,049	0,051	0,052	
0,35	0,022	0,032	0,040	0,044	0,048	0,050	0,051	0,053	
0,3	0,023	0,034	0,041	0,046	0,049	0,051	0,052	0,053	
0,25	0,025	0,035	0,043	0,047	0,050	0,052	0,053	0,054	
0,2	0,027	0,038	0,044	0,048	0,051	0,053	0,054	0,055	
0,15	0,030	0,040	0,046	0,050	0,052	0,054	0,055	0,056	
0,1	0,034	0,043	0,049	0,052	0,054	0,055	0,056	0,057	
0,05	0,041	0,048	0,053	0,056	0,056	0,057	0,058	0,059	



### Características mecánicas:

- Módulo resistente del perfil (LPN 100.10):
- Momento de inercia del perfil (LPN 100.10):
- Tipo de acero:
- Módulo de elasticidad del acero:
- Tensión correspondiente al límite elástico:
- Coeficiente de seguridad del acero en perfiles:
- Coeficiente de seguridad de acciones:
- Peso específico de la fábrica:

$$\begin{aligned}W &= 24,6 \text{ cm}^3 \\I &= 177 \text{ cm}^4 \\S &= 275 \\E_s &= 200.000 \text{ N/mm}^2 \\f_{yk} &= 275 \text{ N/mm}^2 \\\gamma_M &= 1,05 \\\gamma_G &= 1,35 \text{ (permanentes desfavorables)} \\\rho &= 18 \text{ kN/m}^3\end{aligned}$$

15 Según DB SE tabla 4.1 "Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ ) para las acciones". La carga gravitatoria se considera desfavorable en el análisis del dintel.

(15)

### Análisis del dintel a flexión:

- Carga lineal sobre el dintel debida a peso propio:
- Momento flector máximo:
- Capacidad resistente a flexión del perfil:
- Comprobación de resistencia:

$$\begin{aligned}q_d &= \rho \cdot \gamma_G \cdot t \cdot h &= 1,12 \text{ kN/metro} \\M_{Sd} &= q_d \cdot L^2 / 16 &= 1,75 \text{ m}\cdot\text{kN} \\M_{Rd} &= W \cdot f_{yk} / \gamma_M &= 6,44 \text{ m}\cdot\text{kN} \\M_{Sd} &\leq M_{Rd}\end{aligned}$$

$$M_{Sd} = 1,75 \text{ m}\cdot\text{kN} < M_{Rd} = 6,44 \text{ m}\cdot\text{kN}. \text{ VALE}$$

- Flecha del dintel:
- Flecha máxima admisible:
- Comprobación de deformación:

$$\begin{aligned}\delta_{m\acute{a}xima} &= (q_d / \gamma_G) \cdot L^4 / (384 E_s \cdot I) &= 3,8 \text{ mm} \\\delta_{admisible} &= L / 1000 &= 5,0 \text{ mm} \\\delta_{m\acute{a}xima} &\leq \delta_{admisible}\end{aligned}$$

$$\delta_{m\acute{a}xima} = 3,8 \text{ mm} < \delta_{admisible} = 5,0 \text{ mm}. \text{ VALE}$$

## EJEMPLO 12

### Cerramiento pasante con huecos corridos en horizontal

#### Cálculo del faldón (antepecho+dintel).

Altura 1,80 m. Luz entre soportes 5,00 m

Solución G.H.A.S.® con armadura de tendel GEOFOR® y anclajes GEOANC CDM®

#### Características geométricas:

- Paño sustentado en tres bordes con laterales en continuidad (DB SE-F, tabla G.1)
- Luz entre soportes:  $L = 5,00 \text{ m}$
- Altura libre de planta:  $h = 2,70 \text{ m}$
- Altura del antepecho:  $h_0 = 1,10 \text{ m}$
- Altura del hueco:  $h_1 = 1,20 \text{ m}$
- Altura del dintel:  $h_2 = 0,40 \text{ m}$
- Canto del forjado:  $h_3 = 0,30 \text{ m}$
- Altura de cálculo:  $h_d = h_0 + h_1 + h_2 + h_3 = 3,00 \text{ m}$  (16)
- Espesor del muro (1/2 pie formato castellano):  $t = 115 \text{ mm}$
- Armadura de tendel (GEOFOR® 4080/GF):  $\Phi 4 \text{ mm}$  cada 0,36 m

#### Características mecánicas:

- Resistencia a compresión de la fábrica:  $f_k = 4 \text{ N/mm}^2$  (17)
- Resistencia a flexión paralela a los tendeles:  $f_{xk1} = 0,10 \text{ N/mm}^2$  (18)
- Módulo resistente por unidad de longitud:  $Z_1 = t^2 / 6 = 2204 \text{ mm}^2 \cdot \text{m/metro}$
- Cuantía de la armadura de tendel ( $\Phi 4$  cada 0,36 m):  $A_s = 34,91 \text{ mm}^2/\text{metro}$
- Resistencia a tracción de la armadura:  $f_{yk} = 600 \text{ N/mm}^2$  (19)
- Brazo mecánico de la armadura:  $z_s = 80 \text{ mm}$
- Valor característico de la acción de viento:  $q_e = 0,8 \text{ kN/m}^2$  (20)
- Coeficiente de seguridad de la fábrica:  $\gamma_M = 2,5$
- Coeficiente de seguridad de la armadura:  $\gamma_s = 1,15$
- Coeficiente de seguridad de acciones:  $\gamma_Q = 1,50$  (variables desfavorables)  
 $\gamma_G = 0,8$  (permanentes favorables) (21)
- Peso específico de la fábrica:  $\rho = 18 \text{ kN/m}^3$

16 En el cálculo del faldón a viento se ha repercutido el hueco.

17 Obtenida en el ejemplo 1.

18 Valor obtenido de la tabla 4.6 "Resistencia a flexión de la fábrica" del DB SE-F.

19 La armadura GEOFOR® tiene una resistencia garantizada a tracción de 600 N/mm<sup>2</sup>.

20 Valor utilizado en los ejemplos anteriores.

21 Según DB SE tabla 4.1 "Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ ) para las acciones". La carga gravitatoria se considera favorable en el análisis a flexión por viento.

### Análisis a flexión:

- Tensión normal debida a peso propio (en base):  $\sigma_d = \rho \cdot \gamma_G \cdot (h_0 + h_2 + h_3) = 0,0259 \text{ N/mm}^2$
- Capacidad resistente a flexión vertical:  $M_{Rd1} = Z_1 \cdot (f_{yk1} / \gamma_M + \sigma_d) = 0,145 \text{ m}\cdot\text{kN} / \text{metro}$
- Capacidad resistente a flexión horizontal:  $M_{Rd2} = A_s \cdot f_{yk} \cdot z_s / \gamma_s = 1,457 \text{ m}\cdot\text{kN} / \text{metro}$
- Razón entre resistencias:  $\mu = M_{Rd1} / M_{Rd2} = 0,100$
- Razón entre dimensiones:  $h_d / L = 0,60$
- Coeficiente de flexión (DB SE-F tabla G.1):  $\alpha = 0,0469$
- Valor de cálculo del momento flector vertical:

$$M_{Sd1} = \mu \cdot \alpha \cdot q_e \cdot \gamma_Q \cdot L^2 = 0,100 \cdot 0,0469 \cdot 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,50 \cdot (5,00 \text{ m})^2 = 0,140 \text{ m}\cdot\text{kN}/\text{metro de longitud}$$

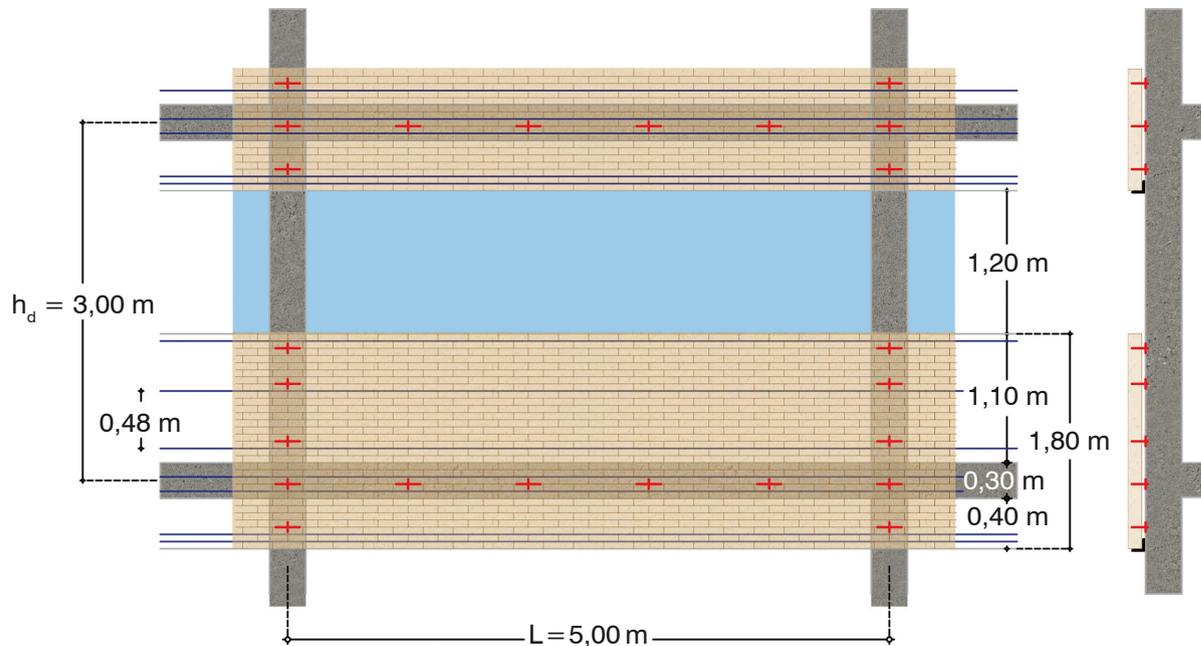
- Valor de cálculo del momento flector horizontal:

$$M_{Sd2} = \alpha \cdot q_e \cdot \gamma_Q \cdot L^2 = 0,0469 \cdot 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,50 \cdot (5,00 \text{ m})^2 = 1,407 \text{ m}\cdot\text{kN}/\text{metro de altura}$$

- Comprobación de resistencia:

$$M_{Sd1} = 0,140 \text{ m}\cdot\text{kN}/\text{metro} < M_{Rd1} = 0,145 \text{ m}\cdot\text{kN}/\text{metro. VALE}$$

$$M_{Sd2} = 1,407 \text{ m}\cdot\text{kN}/\text{metro} < M_{Rd2} = 1,457 \text{ m}\cdot\text{kN}/\text{metro. VALE}$$



### Cálculo del dintel. Altura 1,80 m. Luz entre soportes 5,00 m Solución con perfil LPN 100.10 recibido en frentes de soportes

22 Según DB SE tabla 4.1 “Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ ) para las acciones”. La carga gravitatoria se considera desfavorable en el análisis del dintel.

#### Características geométricas:

- Altura del paño que carga sobre perfil:  $h = h_0 + h_2 + h_3 = 1,80 \text{ m}$
- Luz entre soportes:  $L = 5,00 \text{ m}$
- Tipo de sustentación del perfil: En continuidad al paso por soportes
- Espesor de muro (  $\frac{1}{2}$  pie formato castellano):  $t = 115 \text{ mm}$

#### Características mecánicas:

- Módulo resistente del perfil (LPN 100.10):  $W = 24,6 \text{ cm}^3$
- Momento de inercia del perfil (LPN 100.10):  $I = 177 \text{ cm}^4$
- Tipo de acero: S 275
- Módulo de elasticidad del acero:  $E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2$
- Tensión correspondiente al límite elástico:  $f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$
- Coeficiente de seguridad del acero en perfiles:  $\gamma_M = 1,05$
- Coeficiente de seguridad de acciones:  $\gamma_G = 1,35$  (permanentes desfavorables) <sup>(22)</sup>
- Peso específico de la fábrica:  $\rho = 18 \text{ kN/m}^3$

#### Análisis del dintel a flexión:

- Carga lineal sobre el dintel debida a peso propio:  $q_d = \rho \cdot \gamma_G \cdot t_d \cdot h = 5,03 \text{ kN/metro}$
- Momento flector máximo:  $M_{Sd} = q_d \cdot L^2 / 16 = 7,86 \text{ m}\cdot\text{kN}$
- Capacidad resistente a flexión del perfil:  $M_{Rd} = W \cdot f_{yk} / \gamma_M = 6,44 \text{ m}\cdot\text{kN}$
- Comprobación de resistencia:  $M_{Sd} \leq M_{Rd}$

$$M_{Sd} = 7,86 \text{ m}\cdot\text{kN} > M_{Rd} = 6,44 \text{ m}\cdot\text{kN}. \text{ NO VALE}$$

- Flecha del dintel:  $\delta_{\text{máxima}} = (q_d / \gamma_G) \cdot L^4 / (384 E_s \cdot I) = 17,1 \text{ mm}$
- Flecha máxima admisible:  $\delta_{\text{admisible}} = L / 1000 = 5,0 \text{ mm}$
- Comprobación de deformación:  $\delta_{\text{máxima}} \leq \delta_{\text{admisible}}$

$$\delta_{\text{máxima}} = 17,1 \text{ mm} > \delta_{\text{admisible}} = 5,0 \text{ mm}. \text{ NO VALE}$$

**Cálculo corregido del dintel. Altura 1,80 m. Luz entre soportes 5,00 m**  
**Solución G.H.A.S. con perfil LPN 100.10 recibido en frentes de soportes**  
**y en tubos PHC 60.4 intercalados a media luz**

Análisis del dintel a flexión:

- Carga lineal sobre el dintel debida a peso propio:  $q_d = \rho \cdot \gamma_G \cdot t_d \cdot h = 5,03 \text{ kN/metro}$
- Luz de cálculo a flexión:  $L / 2 = 2,50 \text{ m}$
- Momento flector máximo:  $M_{Sd} = q_d \cdot (L / 2)^2 / 16 = 1,96 \text{ m}\cdot\text{kN}$
- Capacidad resistente a flexión del perfil:  $M_{Rd} = W \cdot f_{yk} / \gamma_M = 6,44 \text{ m}\cdot\text{kN}$
- Comprobación de resistencia:  $M_{Sd} \leq M_{Rd}$

$$M_{Sd} = 1,96 \text{ m}\cdot\text{kN} < M_{Rd} = 6,44 \text{ m}\cdot\text{kN. VALE}$$

- Flecha del dintel:  $\delta_{\text{máxima}} = (q_d / \gamma_G) \cdot (L / 2)^4 / (384 E_s \cdot I) = 1,1 \text{ mm}$
- Flecha máxima admisible:  $\delta_{\text{admisible}} = (L / 2) / 1000 = 2,5 \text{ mm}$
- Comprobación de deformación:  $\delta_{\text{máxima}} \leq \delta_{\text{admisible}}$

$$\delta_{\text{máxima}} = 1,1 \text{ mm} < \delta_{\text{admisible}} = 2,5 \text{ mm. VALE}$$

378

Análisis del tirante a flexión (para evitar la torsión del dintel):

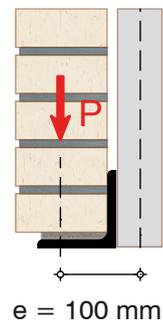
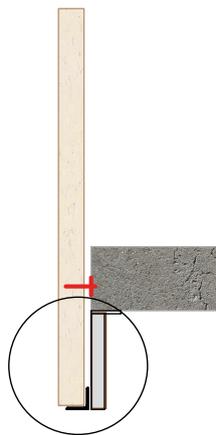
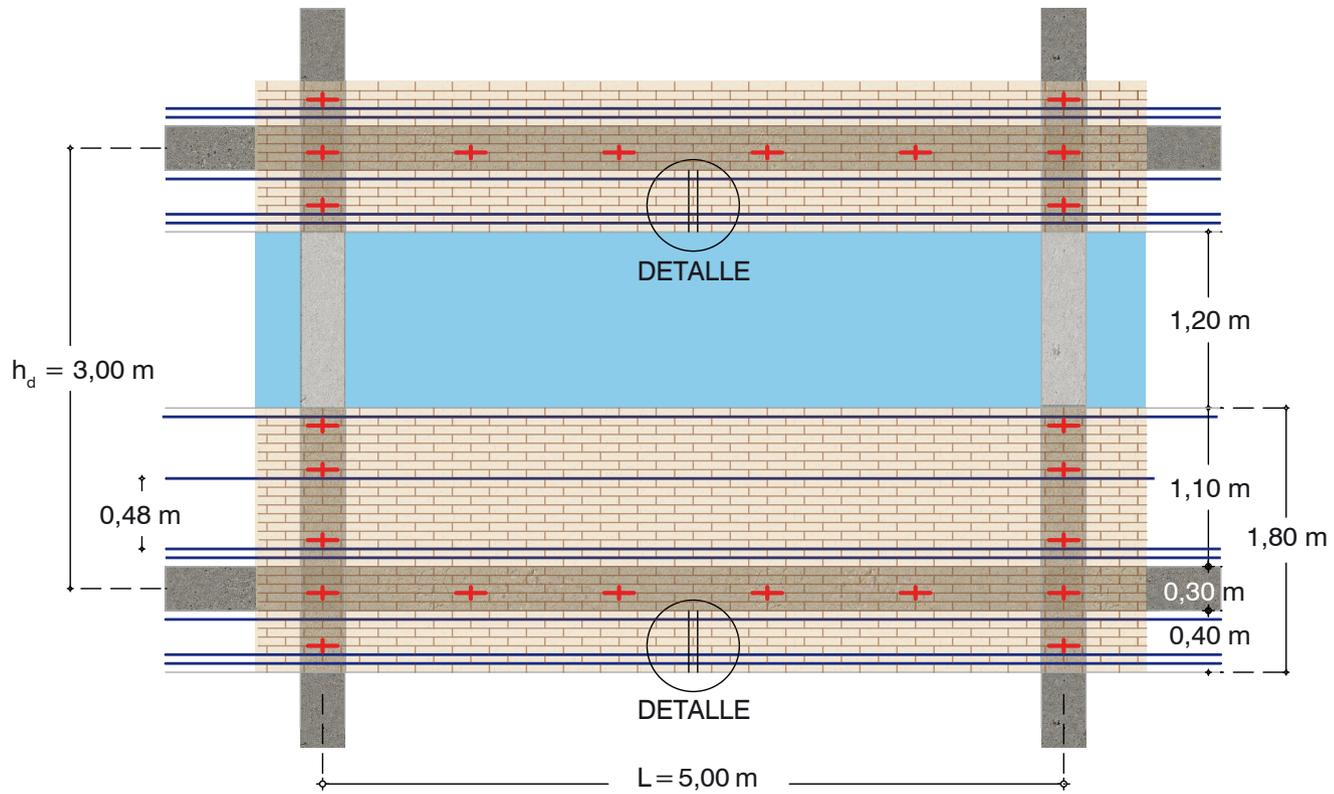
- Carga lineal sobre el dintel debida a peso propio:  $q_d = \rho \cdot \gamma_G \cdot t_d \cdot h = 5,03 \text{ kN/metro}$
- Excentricidad de la carga gravitatoria:  $e = 60 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 30 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$
- Esfuerzo normal de tracción:  $N_{Sd} = q_d \cdot (L / 2) = 12,58 \text{ kN}$
- Momento flector debido a la excentricidad de la carga:  $M_{Sd} = q_d \cdot (L / 2) \cdot e = 1,26 \text{ m}\cdot\text{kN}$
- Área de la sección recta del perfil (PHC 60.4):  $S = 8,41 \text{ cm}^2$
- Módulo resistente del perfil (PHC 60.4):  $W = 14,10 \text{ cm}^3$
- Valor de cálculo de la resistencia del acero (S 275):  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_M = 275 \text{ N/mm}^2 / 1,05 = 262 \text{ N/mm}^2$

Comprobación de la resistencia a flexotracción:

- Valor de cálculo de la tensión normal máxima:  $\sigma_{d, \text{máxima}} = (N_{Sd} / S) + (M_{Sd} / W) = 104 \text{ N/mm}^2$
- Comprobación de resistencia:  $\sigma_{d, \text{máxima}} \leq f_{yd}$

$$\sigma_{d, \text{máxima}} = 104 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} = 262 \text{ N/mm}^2. \text{ VALE}$$





DETALLE

Si el dintel se resuelve con fábrica armada en las primeras hiladas, se podría eliminar sólo en parte el perfil angular de apoyo, utilizando la capacidad resistente a flexión de la propia fábrica trabajando como viga.

Sin embargo, habría que aumentar el número de tubos verticales para limitar la luz máxima entre apoyos por estabilidad lateral del dintel. En el ejemplo analizado, con una altura de dintel de 1,80 m, la distancia máxima entre apoyos, según DB SE-F, artículo 5.6.1, párrafo 6, es  $L_{m\acute{a}x} = 250 \cdot (0,115 \text{ m})^2 / 1,80 \text{ m} = 1,83 \text{ m}$ . Se precisarían dos tubos intercalados por cada tramo entre soportes, en lugar de uno, lo que supone duplicar la cuantía de acero en perfiles verticales.

En estos casos no resulta rentable recurrir a fábrica armada sustentada en apoyos puntuales puesto que el ahorro en acero no es significativo y tiene, como contrapartida, la complejidad constructiva que supone mantener apeado el muro hasta que finalice el proceso de fraguado y endurecimiento del mortero.

### Funcionamiento en viga

Esta situación corresponde al caso de cerramientos en los que se interrumpe la continuidad de la fábrica en cabeza, y con reacción en base poco fiable, por la presencia de láminas o barreras interpuestas.

El modelo de análisis es muy sencillo, aunque el rendimiento mecánico es el menor de todos los descritos anteriormente.

En este caso, ante la acción de viento, el cerramiento funciona como una viga horizontal, sustentada en soportes o "windpost", solicitada a flexión unidireccional.

Debido a que la resistencia a flexión vertical no interviene en el análisis, no es necesario realizar prorrateo de resistencia, por lo que se pueden omitir los tanteos previos en el proceso de dimensionado, obteniéndose directamente la luz máxima entre soportes, en función de la capacidad resistente suministrada por la armadura de tendel; o, viceversa, obtener la capacidad resistente

necesaria (cuantía de armadura) para una luz entre soportes determinada.

Los resultados no difieren sustancialmente de los obtenidos en el ejemplo anterior, en el que la resistencia a flexión vertical contribuye poco en el comportamiento mecánico.

La comprobación de resistencia se puede plantearse en los siguientes términos:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

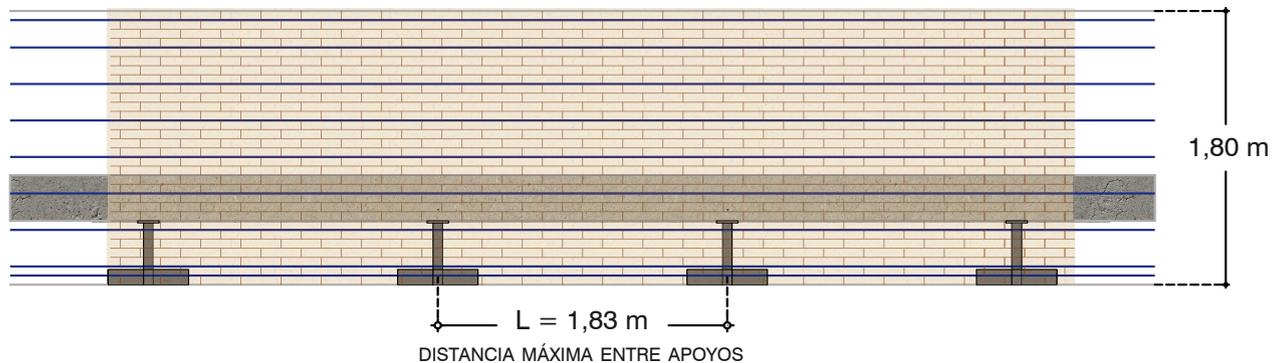
siendo:

- $M_{Sd}$  → momento flector de cálculo por la acción de viento =  $q_e \cdot \gamma_Q \cdot L^2 / 16$

- $M_{Rd}$  → capacidad resistente de la sección con armadura =  $A_s \cdot f_{yk} \cdot z_s / \gamma_s$

donde:

- $q_e$  → es la presión de viento (por unidad de superficie)
- $\gamma_Q$  → es el coeficiente de seguridad de la acción de viento



### Solución de arranque con fábrica armada y apoyos puntuales

- $L$  → es la distancia entre elementos verticales de sustentación
- $A_s$  → es el área de armadura por unidad de altura =  $\pi \cdot \Phi^2 / 4 \cdot s$
- $s$  → es la separación vertical entre armaduras
- $f_{yk}$  → es el límite elástico de la armadura
- $z_s$  → es el brazo mecánico de la armadura
- $\gamma_s$  → es el coeficiente de seguridad del acero

Debido a la sencillez del procedimiento, en lugar de ilustrarlo con un ejemplo, se indica a continuación una tabla de valores de distancias máximas entre soportes o “windpost” para diferentes cuantías de armadura GEOFOR®. Los parámetros relativos a las características geométricas y mecánicas son los mismos que se han utilizado en los ejemplos anteriores, con objeto de poder comparar los resultados.

En un cerramiento de 1/2 pie castellano, y para una presión de viento  $q_e = 0,80 \text{ kN/m}^2$ , se obtienen las siguientes distancias máximas entre elementos verticales de sustentación (soportes o “windpost”):

- Con armadura GEOFOR® 4080 cada 60 cm:  $L_{\text{máx}} = 3,40 \text{ m}$
- Con armadura GEOFOR® 4080 cada 48 cm:  $L_{\text{máx}} = 3,80 \text{ m}$
- Con armadura GEOFOR® 4080 cada 36 cm:  $L_{\text{máx}} = 4,40 \text{ m}$

- Con armadura GEOFOR® 5080 cada 60 cm:  $L_{\text{máx}} = 4,25 \text{ m}$
- Con armadura GEOFOR® 5080 cada 48 cm:  $L_{\text{máx}} = 4,75 \text{ m}$
- Con armadura GEOFOR® 5080 cada 36 cm:  $L_{\text{máx}} = 5,50 \text{ m}$

El único cálculo adicional que requiere esta solución se refiere al dimensionado de los elementos auxiliares, tales como los anclajes a los soportes y, en caso de ser necesarios, los “windpost” intercalados entre los mismos.

Los anclajes deben resistir un esfuerzo normal (de compresión o tracción, según se trate de presión o succión, respectivamente) igual a la resultante de la acción total de viento entre sustentaciones verticales.

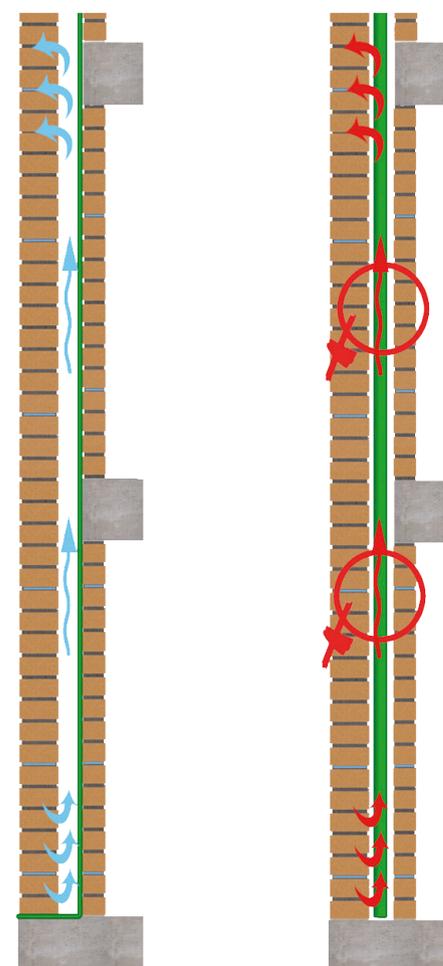
Los “windpost” intercalados deben transmitir, por flexión vertical, esa misma resultante a los forjados en los que se sustentan.

### 8.2.4 Fachada ventilada

La fachada ventilada es una solución constructiva que supone una mejora del comportamiento en servicio del cerramiento debido a la posibilidad de eliminación de los puentes térmicos en los encuentros de la fachada con los forjados y los soportes.

La fachada ventilada no difiere, desde el punto de vista constructivo y estructural, de las soluciones de fachada autoportante que se han descrito y analizado pormenorizadamente. El aspecto fundamental que caracteriza una fachada ventilada está relacionado con el comportamiento higrotérmico del cerramiento.

La fachada ventilada se compone esencialmente de una cámara interpuesta entre el edificio y la hoja exterior del cerramiento, por la que puede discurrir una corriente de aire entre la parte inferior y la superior, que evita la formación de humedades intersticiales, de forma que se preserven las condiciones idóneas del aislamiento térmico incorporado.



Fachadas ventilada y pasante

Respecto al control de la transferencia de energía en el cerramiento, el material de acabado de una fachada ventilada supone una primera barrera frente a las inclemencias del ambiente exterior y contribuye al aislamiento térmico, en mayor o menor medida, según sea su espesor y los procedimientos que se utilicen para conseguir la ventilación de la cámara.

La hoja exterior del cerramiento representa una segunda epidermis para el edificio, adelantando en el espacio el plano de incidencia de los efectos de la intemperie, lo que supone una mejora de las prestaciones referentes al ahorro energético, disipando en verano por convección la energía procedente de la radiación solar directa, y comportándose durante el invierno como un estrato de aislamiento térmico ventilado, lo que evita la infiltración de humedad en el material aislante.

### Componentes de la fachada ventilada

Está formada por los siguientes elementos fundamentales:

- Una hoja exterior continua que no se apoya directamente en la estructura del edificio, con libertad de movimientos propios de los demás elementos constructivos. Esta hoja exterior puede ser de material pesado de fábrica (*fachadas pesadas*); de placas delgadas de materiales pesados (*fachadas semipesadas*), o de placas de resinas o paneles sándwich metal / plástico / metal (*fachadas ligeras*). Su función fundamental es conformar la cámara ventilada, además de definir la imagen exterior del edificio.
- Una cámara de aire ventilada y drenada, cuya misión es impedir el

paso del agua desde la hoja exterior hasta el interior del edificio, y evacuar la humedad hacia el exterior. Para ello, el espesor de la cámara debe tener un ancho mínimo de 4 cm (bastarían 3 cm según el C.T.E.).

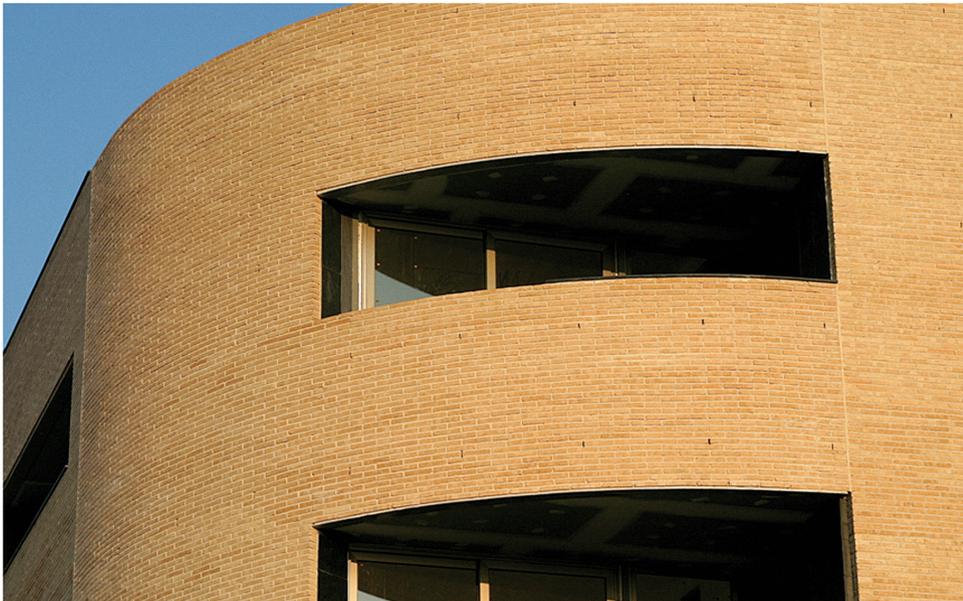
- Una capa de material aislante térmico y barrera de vapor, cuando sea necesario, que debe ir adosada a la cara exterior de la hoja interior. Es conveniente que el material aislante sea continuo en toda la altura de la fachada, pasando por delante de los frentes de forjado, para evitar el puente térmico.
- Una hoja interior apoyada directamente en la estructura del edificio, que constituye el verdadero cerramiento del espacio interno habitable.

### Requisitos de proyecto de la fachada ventilada

En las fachadas ventiladas con revestimiento pesado de fábrica, el requisito de estabilidad está determinado fundamentalmente por el peso propio de la hoja exterior y por la acción del viento. Las fachadas semipesadas y ligeras requieren ser soportadas por una subestructura de elementos portantes.

En cuanto a los requisitos funcionales, existen dos aspectos importantes que se deben tener en cuenta en el proyecto de fachada ventilada, cuya importancia depende del tipo al que pertenezca.

Uno de ellos se refiere a la necesidad de garantizar unas condiciones correctas de ventilación. Para ello, se debe



diseñar el encuentro de la parte superior de la fachada con el alero o con los elementos de la carpintería exterior, de manera que, si se disponen viseras de protección, éstas no impidan el tiro de la ventilación.

El otro aspecto está relacionado con la prevención frente al fuego. En las fachadas ventiladas de junta seca, el aislamiento térmico debe ser ignífugo, debido a que este material conforma una pared situada detrás del revestimiento exterior, en la que las láminas de corriente producidas por el efecto tiro, tal y como sucede en una chimenea, determinan condiciones propicias para la propagación de la llama. En las fachadas estancas formadas por piezas de albañilería recibidas con mortero, la posibilidad de propagación de llama en el interior de la cámara es similar a la de las fachadas convencionales.

En lo referente al comportamiento acústico del cerramiento, no cabe duda de que la fachada ventilada representa

una contribución al requisito de protección frente al ruido exterior, como cualquier otra; sin embargo, este aspecto no constituye un determinante esencial en el proyecto de la fachada.

Por la configuración abierta de la fachada, cabe la posibilidad de que entre insectos, lo cual se puede evitar interponiendo rejillas que, sin impedir la ventilación, dificulten el acceso de los mismos.

#### Comportamiento térmico de la fachada ventilada

A los efectos de cuantificar la demanda energética del edificio, la fachada ventilada configura un sistema constructivo de aislamiento térmico por el exterior, desplazando el riesgo de condensaciones intersticiales desde la hoja interior y atenuándolo en la capa de aislamiento, debido a que la corriente de aire que se establece entre la hoja exterior y el aislamiento propicia la ventilación de la superficie exterior del aislante.

La masa y el color del material de acabado son factores que contribuyen a la inercia térmica de este componente. El revestimiento pesado determina una inercia térmica elevada en las transmisiones térmicas entre el ambiente exterior y la parte posterior de la cámara de aire.

Sin embargo, estos aspectos de las fachadas ventiladas, como en cualquier otro sistema de cerramiento multicapa, tienen poca incidencia en la inercia térmica en el interior del edificio. Las consideraciones indicadas anteriormente son importantes sólo desde el punto de vista de la durabilidad del cerramiento.

La principal ventaja de las fachadas ventiladas desde el punto de vista de la demanda energética es que constituyen un elemento de atenuación de la radiación solar directa. El efecto de disipación de calor por convección predomina sobre el resto de los fenómenos de transferencia. Esta ventaja es especialmente notable en los climas cálidos.



### 8.3 Proceso constructivo del Sistema G.H.A.S.<sup>®</sup>

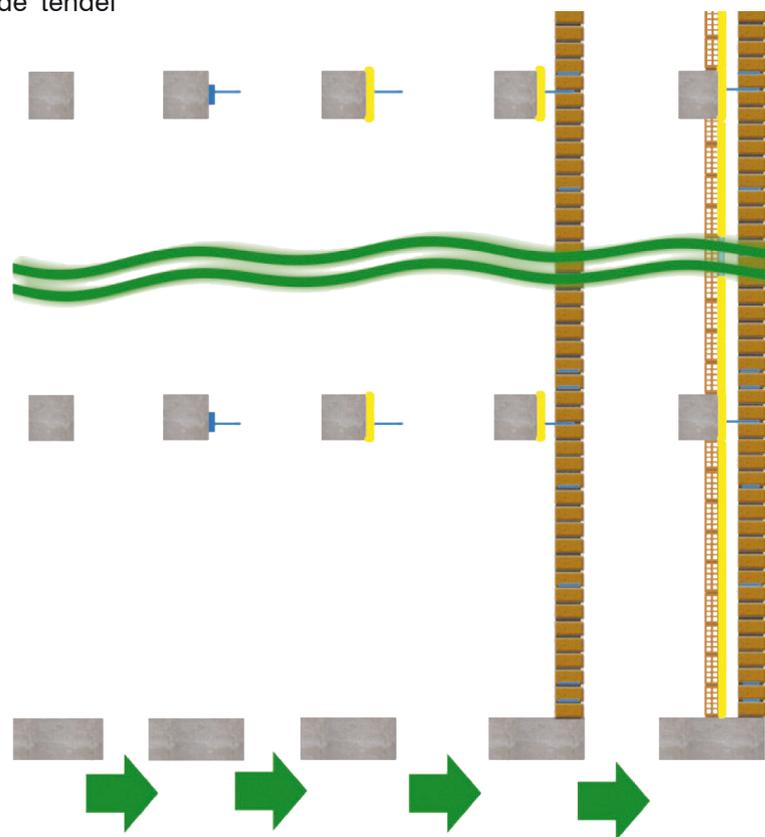
Con el Sistema G.H.A.S.<sup>®</sup> es posible construir la fachada, tanto si es pasante como si es ventilada, siguiendo el mismo proceso que en las soluciones convencionales; es decir, ejecutando en primer lugar la hoja exterior. Para evitar puentes térmicos basta con revestir previamente los frentes de forjado y soportes con material aislante.

La hembra de los anclajes se fija en los elementos estructurales con anterioridad a la ejecución de la fachada, en la que se incorporan las garras de los mismos y la armadura de tendel

que se precise por cálculo, a medida que se levanta el muro por el procedimiento habitual. De esta forma se facilita la supervisión y el *caravistero* no tiene que coordinar su trabajo con ningún operario de otro oficio.

La hoja interior se realiza en último lugar. El aislamiento térmico puede alojarse en la cámara continua, o puede colocarse 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.

Tanto si la fachada es pasante como si es ventilada, es fundamental que el aislamiento quede lo más próximo posible de la hoja interior. Esto se puede conseguir colocando planchas rígidas procurando que quede la distancia necesaria de cámara mediante separadores, o utilizando para la hoja interior piezas cerámicas de gran formato 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 evita la caída de pasta en la cámara, que queda perfectamente limpia.



Fachadas de ladrillo caravista



### 8.3.1 Formación de huecos

En el *Sistema G.H.A.S.®* los huecos son, aparte del elemento de arranque y coronación, los únicos puntos de contacto de las dos hojas del cerramiento.

Se deben tener en cuenta todas las prescripciones de carácter general indicadas para los huecos de las fachadas convencionales, haciendo especial hincapié en dos puntos fundamentales, que tienen una solución específica para el *Sistema G.H.A.S.®*: la impermeabilización y drenaje de la cámara en los dinteles, y el encuentro con los elementos rígidos tales como los vierteaguas, umbrales o albardillas.

Otro punto singular lo constituye el dintel, que es el elemento estructural que conforma la parte superior del hueco y debe servir para transmitir la carga que gravita sobre él. Sea cual sea el procedimiento utilizado para resolver el elemento estructural, es fundamental que exista uno para la hoja exterior y otro independiente para la hoja interior, puesto que el estado de solicitaciones de ambos es muy diferente. En el caso de que el hueco tenga que alojar una caja para la persiana y ésta continúe hasta el forjado no es necesario el dintel interior.

Como elemento estructural para la formación del dintel de la hoja exterior se puede utilizar un elemento específico o *cargadero*, o bien la propia fábrica constituida en viga, con armadura de tendel en las primeras hiladas. Independientemente de que se utilice uno u otro sistema, el modelo de análisis para la obtención de solicitaciones corresponde al de *viga ordinaria* o al de *viga de gran canto* en función de la relación entre la luz y la altura del dintel.

Si el cargadero está constituido por un perfil metálico, debe estar debidamente protegido contra la corrosión según el grado de exposición de la fachada.

El perfil puede ir colgado del forjado, que es la solución habitual para los huecos corridos en horizontal, o entregado en las jambas, si la dimensión del hueco lo permite. La entrega debe asegurar un buen reparto de la carga; suele ser suficiente con 10 cm o el canto del dintel. La junta de encuentro debe coincidir con uno de los tendeles del resto del muro y mantener el mismo espesor.

Para las soluciones de dintel con fábrica armada existen piezas cerámicas especiales para conformar la primera hilada, en las que se puede alojar la armadura necesaria, y que se aparejan con el resto de la fábrica, dando un aspecto estético de continuidad.

Los alféizares y umbrales no se deben apoyar simultáneamente en las dos hojas del cerramiento. Cuando la carpintería se sitúa a haces interiores, la solución consiste en apoyar el elemento en la hoja exterior y resolver el encuentro con la carpintería mediante solape. Es importante que la carpintería tenga su propio vierteaguas.

### 8.3.2 Remate de los petos de azotea

La pieza de remate de los petos es la albardilla. Si el peto se resuelve doblando la hoja una buena solución consiste en resolver la albardilla con dos elementos diferentes, solapados para evitar la entrada de agua y apoyados cada uno en cada hoja.



