

## 3. Criterios

<b>3.1 Criterios estructurales</b>	<b>61</b>
3.1.1 Resistencia mecánica de las fábricas .....	61
3.1.2 Criterios específicos de los muros de cerramiento .....	63
<b>3.2 Criterios de proyecto</b>	<b>70</b>
3.2.1 Modulación .....	70
3.2.2 Aparejo .....	70
3.2.3 Tipos de muros .....	74
3.2.4 Juntas verticales de movimiento .....	76
3.2.5 Fábricas de diferentes materiales .....	78
3.2.6 Fábrica armada .....	78
<b>3.3. Criterios de suministro, recepción y acopio de materiales</b>	<b>81</b>
3.3.1 Suministro y recepción de los ladrillos cerámicos .....	81
3.3.2 Suministro y recepción del cemento .....	82
3.3.3 Suministro y recepción de la arena .....	83
3.3.4 Suministro y recepción del mortero .....	84
3.3.5 Suministro y recepción de los elementos auxiliares .....	84
<b>3.4 Criterios de ejecución</b>	<b>85</b>
3.4.1 Muretes de referencia o de muestra .....	85
3.4.2 Replanteo y nivelación .....	85
3.4.3 Amasado del mortero .....	86
3.4.4 Humedecimiento de los ladrillos .....	87
3.4.5 Colocación de los ladrillos .....	88
3.4.6 Corte de las piezas .....	90
3.4.7 Juntas de mortero .....	90
3.4.8 Rozas y rebajes .....	96
3.4.9 Criterios de ejecución específicos para fábrica armada .....	97
3.4.10 Criterios de ejecución de las juntas de movimiento .....	98
3.4.11 Criterios de ejecución de los chapados con plaquetas .....	98
3.4.12 Protección de la fábrica durante su ejecución .....	99
3.4.13 Limpieza de la fábrica ejecutada .....	101
<b>3.5 Criterios de control</b>	<b>102</b>
3.5.1 Control de recepción de materiales .....	102
3.5.2 Control de ejecución de la fábrica .....	105



### 3. Criterios

#### 3.1 Criterios estructurales

La fábrica de ladrillo es un excelente material estructural cuando trabaja básicamente a compresión. La limitación de su comportamiento mecánico en muy raras ocasiones está condicionada por su resistencia mecánica. Casi siempre las restricciones a la utilización de las fábricas de ladrillo como material estructural están impuestas por la presencia de empujes horizontales excesivos, por flexiones fuera del plano del muro, por fuertes excentricidades de carga o por tracciones locales.

Aunque a las fábricas se les reconoce una pequeña resistencia a flexión, lo cierto es que los valores, tanto de la resistencia por llagas como de la resistencia por tendeles, son muy pequeños. Sin embargo, el DB SE-F incorpora recursos adicionales con los que se puede suplir esta deficiencia.

El principal recurso para contrarrestar las tracciones debidas a acciones horizontales consiste en acumular peso. Si un muro está comprimido, el valor de la tensión normal de compresión se suma en su totalidad al valor de la resistencia a flexión (DB SE-F, capítulo 5.4 “Muros con acciones laterales locales”, fórmula 5.27). Con el peso propio de dos o tres plantas, un cerramiento puede llegar a contrarrestar totalmente las tracciones por acción lateral y se evita, además, el consiguiente riesgo de fisuración.

Incluir armaduras de tendel constituye otro recurso adicional para suplir la deficiente resistencia a flexión de las fábricas. La armadura de tendel incrementa la ca-

pacidad resistente del muro a flexión horizontal, lo que permite aumentar la luz de flexión en paños esbeltos. La fábrica armada está reconocida como material estructural en el DB SE-F, en donde se pueden encontrar los modelos de comportamiento y respuesta estructural específicos para esta técnica<sup>1</sup>.

#### 3.1.1 Resistencia mecánica de las fábricas

##### Resistencia característica a compresión

Para el cálculo de los muros portantes se considera como parámetro fundamental el valor de la resistencia característica a compresión de la fábrica<sup>2</sup>. Incluso para el cálculo de muros no portantes, este valor sirve de referencia para obtener alguno de los términos relacionados con la capacidad resistente a flexión o cortante.

La resistencia característica a compresión de la fábrica,  $f_k$ , se puede obtener, en función de la resistencia normalizada a compresión de las piezas<sup>3</sup>,  $f_b$ , considerando el valor mínimo garantizado por el fabricante, y la resistencia a compresión del mortero,  $f_m$ . Los valores usuales para las fábricas de ladrillo cara vista se indican en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Resistencia característica a la compresión de las fábricas de ladrillo

Resistencia característica a la compresión de las fábricas de ladrillo $f_k$ (N/mm <sup>2</sup> )								
Resistencia normalizada de las piezas, $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	5	10	15	20	25			
Resistencia del mortero, $f_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	2,5	5	7,5	7,5	10	10	15	15
Ladrillo macizo con junta delgada	-	5	5	7	7	9	10	11
Ladrillo macizo	2	4	4	6	6	8	8	10
Ladrillo perforado	2	4	4	5	6	7	8	9

<sup>1</sup>Fuente: “Código Técnico de la Edificación DB SE-F. Tabla 4.4 “

1 Los modelos de análisis y dimensionado de la fábrica armada son los mismos que los utilizados para el hormigón armado. El DB SE-F indica, literalmente: “En todo lo que afecta a las armaduras activas o pasivas, y modelos de capacidad resistente de la sección, se seguirán, en lo que no se contradiga a aquí, las prescripciones de la norma de hormigón vigente”. (DB SE F, capítulo 5.6 “Fábrica armada a flexión”, artículo 5.6.2, párrafo 1).

2 Se define *resistencia característica a compresión de la fábrica* como la resistencia a compresión correspondiente al fractil 5% de la resistencia.

3 Se define *resistencia normalizada a compresión de las piezas de fábrica* como la resistencia a compresión de las piezas por asimilación a la resistencia a compresión de una pieza equivalente secada al aire, de 100 mm de ancho por 100 mm de alto.

El valor de la resistencia a compresión de la fábrica es el parámetro más representativo de su capacidad portante. Sin embargo, la resistencia a compresión casi nunca condiciona el dimensionado de los muros portantes y, menos aún, el dimensionado de los no portantes, puesto que los valores son suficientemente elevados para los esfuerzos habituales que deben resistir. Casi siempre es la excentricidad de las cargas, que determina a su vez la estabilidad del muro, el aspecto que condiciona la validez estructural de una determinada solución. Si la excentricidad está controlada, generalmente la estabilidad queda asegurada, y la resistencia a compresión resulta muy holgada.

En el proyecto de fábricas a las que se exigen prestaciones estructurales específicas, que requieren capacidad resistente a flexión y cortante, se deben utilizar para el cálculo los valores de resistencia correspondientes a este tipo de solicitaciones. Estos valores se pueden obtener, en la fase de proyecto, tomando como referencia la categoría del mortero utilizado, según las tablas 3.2 y 3.3.

En determinadas condiciones se puede incrementar la resistencia a flexión vertical de las fábricas, adoptando valores en función de su resistencia característica a compresión<sup>(1)</sup>: “En el caso en que se adopten disposiciones especiales sobre la trabajabilidad del mor-

tero y su penetración en los huecos de las piezas se podrá adoptar como resistencia a la flexotracción la de  $0,1 \cdot f_k$ ”. (DB SE-F, artículo 4.6.4 “Resistencia a flexión”, párrafo 3).

Los valores de resistencia mecánica de las fábricas de ladrillo reconocidos por la normativa son excesivamente conservadores. En situaciones en las que interese obtener unos valores más afinados porque se precisen mayores prestaciones, o en las que sea necesario verificar la resistencia real de una fábrica ejecutada, se puede recurrir a realizar los ensayos correspondientes. Estos ensayos de resistencia están regulados por las normas UNE que se resumen en la tabla 3.4.

Tabla 3.2 Resistencia característica a cortante de las fábricas de ladrillo

Resistencia característica a cortante de las fábricas de mortero ordinario							
Tipo de piezas	Mortero <sup>(2)</sup>	$f_{vko}$ (N/mm <sup>2</sup> )			Límite de $f_{vk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>		
		M1	M2,5	M10	M1	M2,5	M10
Ladrillo cerámico macizo		0,1	0,2	0,3	1,2	1,5	1,7
Ladrillo cerámico perforado		0,1	0,2	0,3	1,4*	1,2*	1,0 <sup>(*)</sup>

<sup>(1)</sup> La menor de las resistencias longitudinales a compresión.

<sup>(1)</sup> Para llagas a hueso o con tendel hueco, el valor es el 70% del consignado.

<sup>(2)</sup> Para valores intermedios, no se interpola, sino que se empleará la columna correspondiente al valor inferior.

\*Fuente: “Código Técnico de la Edificación DB SE-F. Tabla 4.5 “

Tabla 3.3 Resistencia característica a flexión de las fábricas de ladrillo

Tipo de piezas	Resistencia a flexión de la fábrica (N/mm <sup>2</sup> )							
	Morteros ordinarios				Morteros de junta delgada		Morteros ligeros	
	$f_m < 5$ N/mm <sup>2</sup>		$f_m \geq 5$ N/mm <sup>2</sup>					
	$f_{xk1}$	$f_{xk2}$	$f_{xk1}$	$f_{xk2}$	$f_{xk1}$	$f_{xk2}$	$f_{xk1}$	$f_{xk2}$
Ladrillo cerámico	0,10	0,20	0,10	0,40	0,15	0,15	0,10	0,10

\*Fuente: “Código Técnico de la Edificación DB SE-F. Tabla 4.6 “

Independientemente de los valores de resistencia establecidos en la normativa, obtenidos a partir de las respectivas resistencias de las piezas y morteros, conviene tener presente los siguientes criterios de carácter general, relativos al comportamiento estructural conjunto de piezas y mortero.

Una elevada resistencia a compresión de las piezas indica una buena resistencia a tracción transversal, y consiguientemente una buena resistencia de la obra de fábrica. Una elevada resistencia a compresión del mortero también indica menor dilatación transversal. Sin embargo, la facilidad de trabajo de la pasta aconseja mezclas plásticas, con mayores porcentajes de finos, aunque la resistencia del mortero sea menor. Por lo tanto, para conseguir mayor resistencia a compresión de la fábrica, es preferible utilizar piezas más resistentes y morteros más plásticos.



No son aconsejables arenas que produzcan morteros poco plásticos, aunque sean arenas limpias de río, pues el operario tiende a facilitar el trabajo agregando mayor cantidad de cemento de la estipulada, con lo que aumenta considerablemente la retracción del mortero y la consecuente fisuración de la fábrica. En general, es perjudicial una dosificación de cemento superior a la necesaria.

Es imprescindible establecer una correlación entre las resistencias de las piezas y los morteros<sup>5</sup>. Ambos materiales se deben dilatar en la misma medida al entrar la fábrica en carga; sin embargo, las deformaciones transversales del mortero son generalmente mayores, provocando en las piezas tensiones de tracción perpendiculares a la dirección del esfuerzo, con lo que éste se fragmenta en pequeñas columnas sueltas. Las fábricas comprimidas no llegan a rotura aplastadas, sino agrietadas por efecto Poisson, con tensiones de tracción perpendiculares al esfuerzo.

El comportamiento de las fábricas a pandeo empeora notablemente si se produce succión del agua de amasado del mortero. Por ello es bueno mojar las piezas cerámicas (excepto las de baja succión) antes de su puesta en obra.

La resistencia al corte de las fábricas no se consigue aumentando la resistencia a compresión de las piezas o morteros, sino limitando el número de huecos o perforaciones de las piezas.

### 3.1.2 Criterios específicos de los muros de cerramiento

Desde el punto de vista del comportamiento estructural, los muros de fábrica que tienen la función exclusiva de compartimentación o cerramiento, no se deben tratar como un caso particular de los muros portantes. Por el contrario, el hecho de estar desprovistos en buena medida de carga gravitatoria obliga a reconsiderar las reglas y criterios que se han utilizado tradicionalmente en el cálculo estructural de los elementos de fábrica.

La ausencia de carga gravitatoria significativa es una circunstancia que no mejora el comportamiento mecánico de los muros de fábrica, sino todo lo contrario. Las condiciones de estabilidad frente a las acciones horizontales se ven mermadas en la misma medida en que el muro se ve desprovisto de tensiones de compresión.

4 El criterio es similar al que existía en la antigua norma FL-90 “Muros Resistentes de Fábrica de Ladrillo”.

5 El DB SE-F limita el valor máximo de la resistencia característica del mortero al 75% de la resistencia normalizada de las piezas. En la tabla 3.1 sólo aparecen las combinaciones compatibles.

6 El DB SE-F dedica un apartado específico para plantear los modelos de análisis estructural que son de aplicación a los muros de cerramiento, sobre el que se insistirá más adelante.

Por esta razón, es preciso analizar con extremo cuidado las condiciones de geometría y sustentación de los muros de cerramiento, estableciendo reglas específicas para este tipo singular de muros de fábrica que, en ningún momento, se pueden deducir extrapolando los criterios que son de aplicación a los muros de carga<sup>6</sup>.

En esta sección se indican los criterios estructurales de carácter general que son de aplicación a los muros de cerramiento en todos los casos, sea cual sea el sistema constructivo adoptado.

Tabla 3.4. Normas UNE de aplicación a los ensayos de resistencia mecánica de las fábricas de ladrillo

NORMAS DE ENSAYO PARA FÁBRICAS DE ALBAÑILERÍA. Propiedades mecánicas	
	<i>“Métodos de ensayo para fábricas de albañilería.</i>
UNE-EN 1052-1:1999	<i>Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión”</i>
UNE-EN 1052-2:2000	<i>Parte 2: Determinación de la resistencia a la flexión”</i>
UNE-EN 1052-3/A1:2008	<i>Parte 3: Determinación de la resistencia inicial a cortante”</i>
UNE-EN 1052-4:2001	<i>Parte 4: Determinación de la resistencia al cizallamiento incluyendo la barrera al agua por capilaridad”</i>
UNE-EN 1052-5:2006	<i>Parte 5: Determinación de la resistencia a la adhesión por el método de arranque”</i>

\*Fuente: Organismo de Normalización AENOR.

### Criterios relativos a la geometría

Los aspectos de índole geométrica constituyen el principal condicionante del comportamiento mecánico de las fábricas, incluso de las que se utilizan sólo con la función de cerramiento.

Sea cual sea el modelo de análisis que se utilice para la verificación del requisito de seguridad estructural, el principal parámetro que condiciona la validez de la solución es la esbeltez del muro. Como criterio general, es importante tener en cuenta que la esbeltez de un muro de cerramiento no sólo depende de la razón entre la altura y el espesor, sino que disminuye sustancialmente si el muro está unido eficazmente en los bordes laterales a soportes o a otros muros que lo rigidicen transversalmente.

La esbeltez de un muro con una altura atípicamente muy elevada se puede mantener dentro de un rango de valores razonables, conservando su espesor de medio pie, sin más que rigidizar el muro en los bordes laterales a distancias suficientemente cortas.

Si se desea utilizar piezas cerámicas de medio pie de espesor, la esbeltez viene determinada por las dimensiones de los paños entre sustentaciones; por consiguiente, los criterios de índole geométrica condicionan tanto las alturas como las luces máximas de los pórticos de fachada o de los elementos estructurales en los que se sustenta el cerramiento.

La normativa limita la esbeltez al valor 27, aunque esta limitación sólo se refiere a los muros de carga y, por extensión, a la planta de arranque de los

muros de cerramiento *autoportantes*. No obstante, se deben evitar los elementos excesivamente esbeltos, que pueden tener problemas de estabilidad. En este sentido, la altura entre forjados para evitar un cálculo exhaustivo con muros de medio pie de espesor, es de aproximadamente 3,00 m.

### Criterios relativos a las sustentaciones

Las condiciones de sustentación de los muros de cerramiento constituyen un factor primordial para su comportamiento mecánico, puesto que intervienen decisivamente en el modo de respuesta del elemento para equilibrar las acciones exteriores.

Las sustentaciones representan los vínculos con la estructura del edificio a las que se transmiten los esfuerzos. La posibilidad de generar determinadas reacciones en los bordes del paño o de liberarlas determina el modelo de comportamiento estructural del muro y las tensiones a las que estará sometido.

El criterio fundamental para un buen comportamiento estructural de los muros de fábrica, con carácter general, es que estén bien sustentados en el arranque. Esto significa que el elemento estructural que sirve de apoyo en la base de un muro, tanto si es de carga como si es de cerramiento, debe tener rigidez suficiente para controlar las deformaciones a valores muy estrictos. Esto no se consigue con elementos muy resistentes, sino con elementos de luces cortas.

Antes de indicar las condiciones de sustentación de los muros de cerramiento en el arranque, es importante matizar este concepto. En un cerramiento con-

tinuo, tanto si es *autoportante* como si está confinado entre forjados sin interrupción de la continuidad en vertical, el “apoyo” se produce inevitablemente en la primera hilada de la planta baja (o de la planta primera si hay soportal)<sup>7</sup>. Por consiguiente, las condiciones que se indican a continuación sólo se refieren al elemento estructural en la planta de arranque, y no a los elementos intermedios embutidos. Por el contrario, en los casos en los que el cerramiento apoya en los forjados de cada planta con la continuidad interrumpida mediante juntas horizontales de movimiento, o en paños con huecos corridos, o cuando por alguna razón de proyecto se interrumpe la continuidad vertical del paño, las siguientes condiciones se deben respetar en todos y cada uno de los elementos de arranque de los paños interrumpidos.

Con carácter general, el elemento estructural en el que arranca un muro de fábrica debe tener limitado el valor de los asientos diferenciales, si se trata de un elemento de cimentación, o el valor de la flecha, si se trata de un elemento en vano. Debido a la enorme rigidez que tienen los muros, no pueden acompañar a los elementos en los que se sustentan cuando los movimientos relativos de éstos son importantes, y el hecho de quedar “descolgados” localmente constituye una de las principales causas de disfunción estructural.

### Arranque en cimentación

Si el muro de cerramiento arranca de cimentación, por ejemplo sobre una zapata corrida, el criterio de rigidez se puede obtener del DB SE-Cimientos, artículo 2.4.3 “Estados límite de servicio”.



El criterio se basa en controlar la rigidez del cimientado estableciendo límites a la distorsión angular.

Se define distorsión angular " $\beta$ " como el asiento diferencial entre dos puntos dividido por la distancia que los separa.

siendo:

- $\beta_{AB}$  → la distorsión angular entre

$$\beta_{AB} = \frac{\delta S_{AB}}{L_{AB}} = \frac{S_B - S_A}{L_{AB}}$$

los puntos A y B

- $S_A$  → el asiento del punto A
- $S_B$  → el asiento del punto B
- $\delta S_{AB}$  → el asiento diferencial entre los puntos A y B
- $L_{AB}$  → la distancia entre los puntos A y B

La tabla 2.2 "Valores límite basados en la distorsión angular" del DB SE-Cimientos establece la limitación de 1/2000 para muros de carga sin armar con flexión cóncava hacia abajo, que es el caso asimilable al de un muro de fábrica, aunque sea de cerramiento, siempre que tenga continuidad hasta la cimentación.

La condición anterior se puede conseguir disponiendo bajo el muro una zapata corrida de hormigón en masa o armado, con canto suficiente según sean las características y el tipo de terreno.

Si el terreno es flojo y no se puede garantizar la anterior limitación de los asientos diferenciales, se puede recurrir

a la disposición de armaduras de tenedel en las primeras hiladas para prevenir la posible fisuración del elemento de fábrica por el hecho de quedar descolgado localmente.

La base de la zapata corrida debe ser horizontal y situada en un solo plano. Si ello no es posible, se puede organizar la cimentación en bancadas uniformes, haciendo coincidir cada una de ellas con juntas verticales de movimiento del muro.

Si el arranque del cerramiento se produce sobre la cabeza de un muro de sótano, la condición de rigidez se cumple sin necesidad de ninguna comprobación adicional.

Cuando es necesario cimentar con zapatas aisladas o pilotes, se deben disponer entre ellos las correspondientes vigas de unión, dimensionadas para resistir a flexión la carga del muro, de manera que no se supere el límite de distorsión angular indicado anteriormente.

#### Arranque en vigas o forjados

Para evitar fisuración en los cerramientos, las vigas o forjados deben ser suficientemente rígidos, especialmente los situados en el perímetro en el que arranca la fachada.

En este caso, la condición de rigidez también se puede deducir de la misma tabla 2.2 "Valores límite basados en la distorsión angular" del DB SE-Cimientos, considerando la limitación de 1/500 aplicable a estructuras reticuladas con tabiquería de separación. Esto equivale a limitar la flecha instantánea de los elementos de arranque a 1/1000 de la luz.

7 La consideración en cuanto a la forma de sustentarse un elemento continuo de fábrica está explícita, sin dejar lugar a duda, en el DB SE-Acciones en la Edificación, artículo 2.1 "Peso propio", párrafo 5: "El peso de las fachadas y elementos de compartimentación pesados ... se asignarán a aquellos elementos que inequívocamente vayan a soportarlos. En caso de continuidad con plantas inferiores, debe considerarse que la totalidad del elemento gravita sobre sí mismo."

Cuando se trata de estructuras porticadas, en las que el cerramiento de fábrica arranca de los zunchos o vigas de borde correspondientes, se consigue resolver la condición de rigidez necesaria en el apoyo mediante dos procedimientos alternativos.

Un procedimiento consiste en no sobrepasar el límite de flecha establecido limitando convenientemente la luz entre soportes. En este sentido, hay que tener en cuenta que la limitación de flecha conduce a resultados aceptables cuando se trata de luces limitadas (en torno a 5,00 m ó 6,00 m como máximo).

Para luces elevadas es necesario establecer, además, un límite de flecha absoluto compatible con la enorme rigidez de los muros de fábrica, que en ningún caso debe sobrepasar el valor de 7 mm ó 6 mm en fábricas sin armar. El recurso habitual para cumplir esta condición es prever un nervio de rigidización en el borde con un canto superior al del

forjado, o un soporte adicional intercalado para reducir la luz. Si ello no es posible, se puede recurrir a la disposición de armaduras en las primeras hiladas para prevenir el consiguiente riesgo de fisuración en los paños de planta baja.

Otro procedimiento consiste en efectuar un análisis estructural exhaustivo, incorporando el cerramiento, con su rigidez correspondiente, en el modelo de cálculo, cuando su presencia resulte desfavorable para el propio cerramiento o para la estructura. Esta alternativa es necesaria cuando se prevean deformaciones importantes en paños de elevadas proporciones geométricas. En este caso se debe diseñar el cerramiento con los recursos adicionales deducidos del análisis correspondiente, adecuados a la solución constructiva adoptada (*véanse las soluciones del Sistema G.H.A.S.*).

#### Crterios relativos a las juntas estructurales

El cerramiento debe respetar las juntas de carácter estructural del edificio al que pertenece. Para ello, es imprescindible hacer coincidir estas juntas con alguna de las juntas de movimiento propias del cerramiento.

#### Crterios relativos a huecos y entrepaños

Desde el punto de vista estructural, los huecos en los cerramientos constituyen un punto singular, pues interrumpen su continuidad. Es creencia habitual que los huecos suponen un debilitamiento del muro, aunque no siempre es así. Si los huecos son pequeños y discontinuos, generalmente las carpinterías

que los circundan constituyen un aporte adicional de rigidez o de resistencia, aunque no se considere en el cálculo. Si los huecos son rasgados en vertical, los montantes de las carpinterías y sus correspondientes fijaciones al forjado pueden llegar a desempeñar el papel de poste auxiliar de rigidización transversal del cerramiento en paños de grandes luces.

Otra cuestión es la presencia de huecos corridos en horizontal. Este tipo de composiciones de fachada supone interrupciones del cerramiento que obligan a diseñar y disponer elementos específicos en cada planta para transmitir la carga gravitatoria a cada uno de los forjados, lo que implica interrumpir también la forma natural de trabajar que tienen los muros de fábrica.

La incidencia de los huecos en el análisis, para las diferentes soluciones constructivas, se desarrollará más adelante en la sección de Requisitos y siguientes. En este capítulo se enuncian los criterios de carácter geométrico que se deben tener en cuenta a la hora de estudiar y componer en proyecto los huecos del cerramiento.

Como sucede en cualquier elemento de fábrica, el comportamiento mecánico de los huecos está condicionado fundamentalmente por la geometría, no sólo del propio hueco, sino también del dintel y del entrepaño que queda entre dos huecos consecutivos o, en su caso, del machón de esquina.

Las proporciones geométricas entre los distintos elementos de un hueco tiene incidencia incluso en la forma de transmisión de la carga gravitatoria a los apoyos. Si el dintel tiene un canto

modesto en relación a su luz (en particular, si el canto es menor que la mitad de la luz), la trasmisión de la totalidad de la carga gravitatoria se realiza por flexión propiamente dicha; en este caso el dintel o cargadero funcionan como una viga ordinaria, es decir con tensiones de tracción y compresión en todas las secciones a lo largo de su desarrollo. Por el contrario, si la altura del dintel es superior a la mitad de la luz libre del hueco, funciona como una viga de gran canto, y sólo una parte de la carga se transmite por flexión a los apoyos extremos, concretamente la carga que queda comprendida en el arco de descarga (arco parabólico de altura igual al 60% de la luz libre del hueco). El resto de la acción gravitatoria se transmite mediante bielas comprimidas de trayectoria oblicua, es decir, produciendo empujes.

Lo fundamental en el diseño y distribución de los huecos de fachada, para un comportamiento estructural adecuado en este último caso, es dotar de suficiente ancho a los machones, es decir, conseguir que los entrepaños tengan un desarrollo suficiente para que el empuje producido por la compresión oblicua caiga siempre dentro de su base de sustentación, con la holgura precisa para que el bloque comprimido correspondiente a la totalidad de la carga sea resistido con seguridad suficiente en la hilada del arranque. Se trata, por tanto, de una condición geométrica que relaciona la luz del hueco con el canto del dintel y, a su vez, con la altura del machón.





La condición geométrica anterior se puede expresar de la siguiente forma:

$$b \geq 0,5 \cdot e + L_o \cdot h / (4 \cdot z + 2 \cdot h) *$$

siendo:

- b ancho mínimo del contrafuerte
- e ancho adicional necesario por aplastamiento, de valor:
  - $e = R / (t \cdot f_d)$ , donde:
    - R es el valor de cálculo de la totalidad de la carga del muro sobre el apoyo ( $R = P / 2 + F / 2$ )
    - t es el espesor del muro
    - $f_d$  es la resistencia de cálculo a compresión de la fábrica
- $L_o$  luz libre del hueco
- h altura del contrafuerte
- z brazo de palanca, de valor:
  - $0,4 \cdot H + 0,2 \cdot L$ , pero no mayor de  $0,7 \cdot L$ , donde:
    - H es la altura total de la fábrica sobre el dintel
    - L es la luz de cálculo del hueco, hasta el eje de las sustentaciones, pero no mayor de  $1,15 \cdot L_o$ , o sea:
      - L  $\leq 0,8 \cdot H$   $1,0 \cdot H$   $1,0 \cdot H$   $1,5 \cdot H$   $2,0 \cdot H$
    - z =  $0,7 \cdot L$   $0,6 \cdot L$   $0,6 \cdot H$   $0,7 \cdot H$   $0,8 \cdot H$

\* Fuente: Documento de Aplicación SE-F a Vivienda. Seguridad estructural Fábrica. Consejo Superior de los Arquitectos de España.

Este criterio de carácter geométrico es especialmente importante cuando la altura de planta, y por consiguiente la altura del machón, es importante, sobre todo si se trata de los machones de esquina. La oblicuidad de la carga puede demandar un ancho importante de machón aunque el espesor del bloque comprimido sea relativamente pequeño.

Si no es posible dotar al machón de desarrollo suficiente para cumplir la condición anterior, es preciso incrementar el esfuerzo de tracción que corresponde al empuje no resistido, a la hora de calcular el dintel.

Para resistir las tracciones producidas por la descarga del hueco, tanto las correspondientes a la descarga por flexión propiamente dicha, como las que corresponden al empuje cuando el contrafuerte es escaso o inexistente, se pueden utilizar diferentes recursos. Aun en el caso de no existir contrafuerte, el valor de la tracción suele ser moderado y, en la mayoría de las situaciones se puede resolver con una pequeña cantidad de acero colocada en la parte inferior del dintel. Sin embargo, sea cual sea el recurso que se utilice para resistir las tracciones, es preciso conseguir una condiciones geométricas adecuadas para resolver el equilibrio.

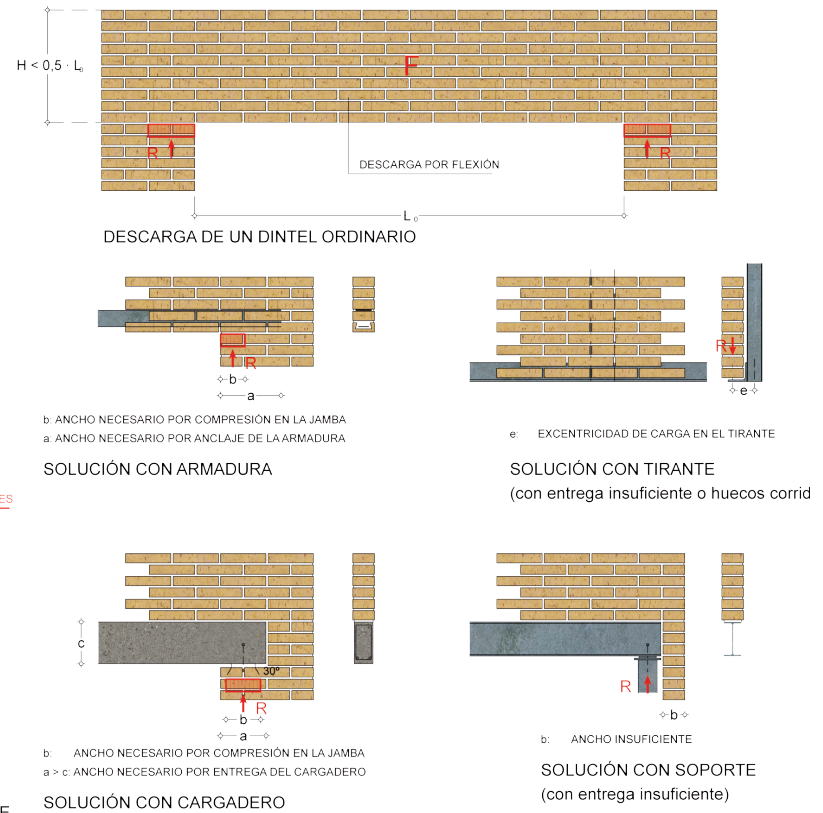
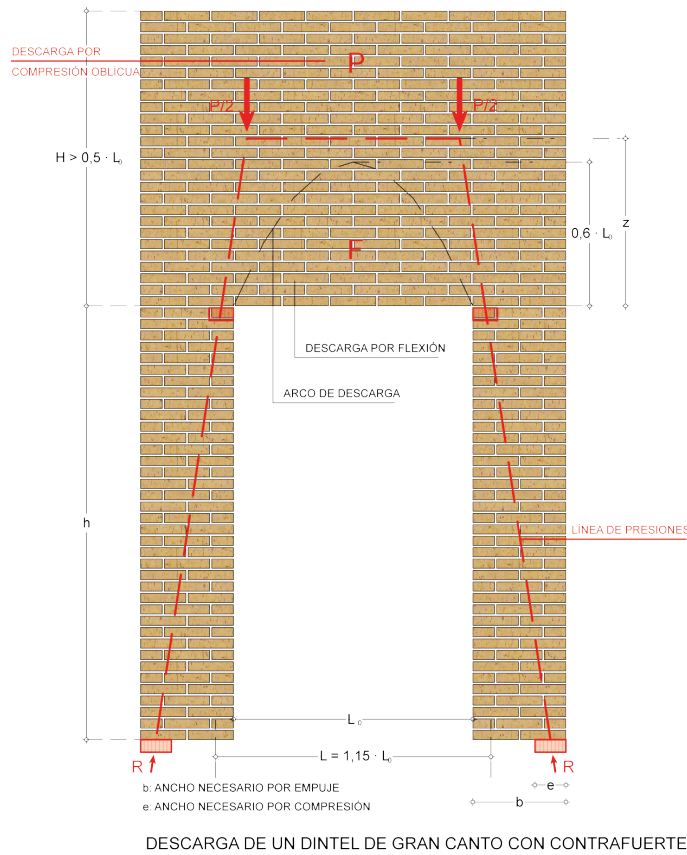
Si se utiliza el recurso de fábrica armada con armadura de tendel, el ancho mínimo del macho queda determinado por la resistencia a compresión de la fábrica, para evitar que la jamba se aplaste por compresión, y por la longitud de anclaje de la armadura.

Si se utilizan elementos específicos, de un material diferente a la fábrica, para

resolver los dinteles de huecos, como es el caso de los cargaderos (pueden ser de hormigón, madera o acero), es fundamental conseguir suficiente ancho de entrega para asegurar un perfecto reparto de cargas y liberar a las

jambas de una perjudicial concentración de tensiones. Como criterio general, la longitud de entrega de perfiles en la fábrica no debe ser menor que el canto del perfil y, en ningún caso, debe ser inferior a 12 cm.

Si estas dimensiones geométricas mínimas no se pueden garantizar, el recurso habitual es disponer un elemento vertical auxiliar con objeto de que restituya las condiciones deficitarias del apoyo, a modo de soporte o de tirante,



según se sustente en el forjado inferior o se cuelgue del forjado superior, respectivamente. Si los huecos son corridos en horizontal, o tienen configuración en esquina, la presencia del poste auxiliar es imprescindible.

Los esfuerzos del poste que sostiene el dintel son de compresión o tracción, según se trate de soporte o tirante, respectivamente, aunque la sollicitación que condiciona su dimensionado en la mayoría de los casos es la flexión, razón por la cual esta función no puede ser encomendada a redondos o tirantillas. En los huecos puntuales que carecen del contrafuerte necesario, el empuje no contrarrestado supone flexión del poste en el plano del muro. En las situaciones en las que la sustentación de la fábrica en el cargadero se produce de forma asimétrica, el poste debe resistir la flexión que corresponde a la excentricidad de la carga, en el plano perpendicular al muro, con objeto de evitar la torsión del cargadero. Si el poste funciona como soporte, los esfuerzos de segundo orden debidos al pandeo suponen flexión del poste en todos los casos.

Como criterio general, si el machón entre dos huecos tiene una longitud inferior a 0,30 m, en ningún caso se le puede asignar un papel estructural, debiendo calcularse el dintel para cubrir ambos huecos, prescindiendo del machón. De la misma manera, si la distancia en horizontal de un hueco a la esquina del edificio es inferior a 0,50 m, la descarga no se puede hacer por el propio elemento de fábrica, debiendo disponerse un perfil metálico auxiliar con resistencia a flexión (puede ser un tubo o similar).

Si se utilizan elementos específicos, de un material diferente a la fábrica, para resolver los dinteles de huecos, como es el caso de los cargaderos, es fundamental conseguir suficiente ancho de entrega para asegurar un perfecto reparto de cargas y liberar a las jambas de una perjudicial concentración de tensiones. Como criterio general, la longitud de entrega de perfiles en la fábrica no debe ser menor que el canto del perfil y, en ningún caso, debe ser inferior a 12 cm.

#### Criterios específicos en zonas sísmicas

Las limitaciones geométricas relativas a las longitudes de entrepaños y proximidad de los huecos a las esquinas son más restrictivas en edificios situados en regiones sísmicas.

En zonas con aceleración sísmica de cálculo de valores por encima de 0,12-g no conviene disponer distancias menores de 0,60 m entre huecos consecutivos, ni de 0,80 m entre un hueco y una esquina, a no ser que se resuelvan con una estructura específica auxiliar de montantes y dinteles.

Si el cerramiento tiene soportal en planta baja, y éste se resuelve con pilastras o pilares intercalados de fábrica, su dimensión debe ser como mínimo de 0,45 m de lado.

Un criterio de buen diseño estructural en zonas sísmicas supone distribuir los huecos de fachada con la mayor uniformidad posible, evitando cambios bruscos de tensión en zonas contiguas de los paños. Si dos paños colindantes tienen una composición de huecos muy diferente, por ejemplo, una zona

de huecos corridos junto a un paño ciego, es aconsejable disponer una junta de movimiento entre ambos. También es aconsejable que la traza de los huecos coincida en plantas sucesivas, en la medida de lo posible.

En zonas con sismicidad muy elevada es un buen criterio, aunque no obligatorio, que los cerramientos tengan un espesor mínimo de 0,14 m; y, en los casos resueltos con anclajes, conviene disminuir el intervalo entre ellos, sin sobrepasar la distancia de 0,40 m.

Si se practican rozas verticales, éstas se deben separar, como mínimo, una distancia de 2,00 m, y su profundidad no debe ser mayor que la quinta parte del espesor del muro.

## 3.2 Criterios de proyecto

El análisis de los elementos de fábrica y las soluciones constructivas adecuadas para conseguir las correspondientes prestaciones, tanto desde el punto de vista estructural como funcional, son mucho más sencillos si se tienen en cuenta las características propias del material desde la fase del proyecto.

Las principales características que determinan el comportamiento de los muros de fábrica son de índole geométrica. Además de la geometría del propio muro, es decir, de la relación entre sus tres dimensiones, es importante considerar en el proyecto la geometría de las propias piezas y las posibles formas de organizarlas, así como los criterios para componer los distintos elementos de fábrica consigo mismos y con el resto de los elementos del edificio.

En apartados sucesivos se indican los criterios generales que tienen especial incidencia en el proyecto de ejecución cuando se utilizan elementos de fábrica de ladrillo cara vista.

### 3.2.1 Modulación

Las construcciones de fábrica, así como cada uno de los elementos que las constituyen, se deben organizar de acuerdo con las dimensiones modulares de los ladrillos<sup>9</sup>. Las dimensiones modulares constituyen una retícula a la que se deben ajustar los planos medios de las juntas de una fábrica. Las longitudes y alturas de muros y machones, deben ser múltiplos de la longitud y altura modular del ladrillo, respectivamente.

En fábricas de ladrillo cara vista, las longitudes y alturas reales de los huecos deben ser iguales a las longitudes y alturas modulares más el espesor de una junta. Las longitudes reales de muros, machones y entrepaños deben ser iguales a las longitudes modulares menos el espesor de una junta.

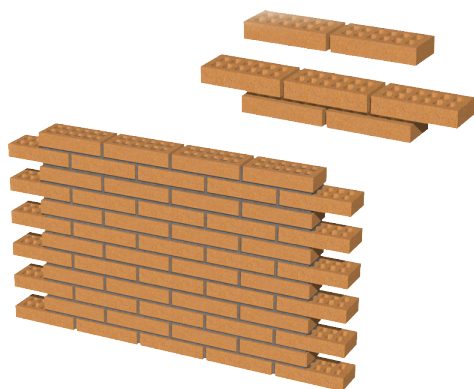
El espesor de las juntas (llagas y tendeles) influye decisivamente, no sólo en la modulación, sino en el comportamiento mecánico de la fábrica. El espesor de la llaga viene forzado por

la modulación de las piezas. El espesor de los tendeles admite una pequeña horquilla de valores para adaptar la altura total del muro a un número entero de hiladas. A este respecto, el DB SE-F indica en el apartado 7.1.5 “Detalle de aparejos de fábrica” que, para poder emplear los valores y ecuaciones relativos a la resistencia de las fábricas, el espesor de los tendeles y de las llagas de mortero ordinario o ligero se debe mantener en valores comprendidos entre 8 mm y 15 mm, y el de tendeles y llagas de mortero de junta delgada, en valores comprendidos entre 1 mm y 3 mm.

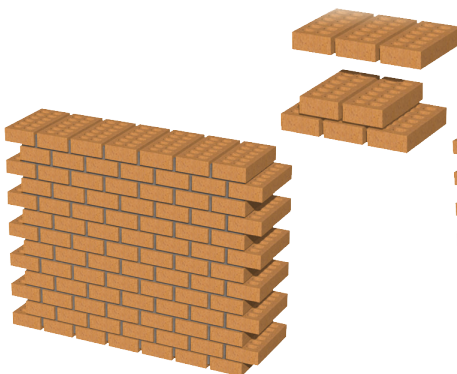
### 3.2.2 Aparejo

Se define *aparejo* como la ley de traba que rige la disposición en que se deben colocar los ladrillos de un muro para organizar su unidad constructiva.

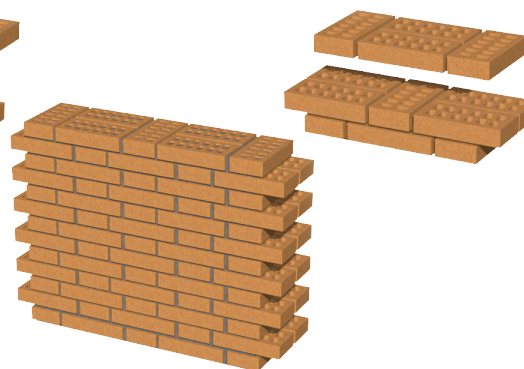
El aparejo constituye la regla básica para la construcción de fábricas. En fábricas con ladrillos cara vista el tipo de aparejo empleado, además, forma parte esencial del aspecto y caracte-



Aparejo a Sogas



Aparejo a Tizones



Aparejo a Sogas y Tizones

rísticas del muro y determina, desde las dimensiones del elemento, hasta los encuentros y los enjarjes, de manera que el muro constituya una unidad homogénea en toda su altura.

La ley de traba supone fundamentalmente solapar las piezas de hiladas consecutivas para que el muro se comporte como un elemento estructural único. El DB SE-F, en el apartado 7.1.4 “Traba de la fábrica” fija con carácter general el solape mínimo en el menor de los siguientes valores:

- 0,4 veces el grueso de la pieza
- 40 mm

En las esquinas o encuentros el solape de las piezas no debe ser menor que su tizón; sin embargo, en el resto del muro se pueden emplear piezas cortadas para conseguir el solape preciso.

El diseño permite numerosas combinaciones, siempre y cuando todas las piezas queden trabadas en una o más direcciones y en todo su espesor.

#### Tipos de aparejo de fábricas de ladrillo

La ley de traba, aplicada al caso particular de las fábricas de ladrillo, se traduce en dos reglas fundamentales:

- Se puede adoptar cualquier tipo de aparejo de llagas encontradas pero utilizando siempre piezas no inferiores a  $\frac{1}{2}$  ladrillo.
- Los solapes no deben ser menores de  $\frac{1}{4}$  de la soga menos una junta.

No siempre es posible cumplir las leyes de traba correctas, sobre todo en las esquinas. También existen situaciones en las que, por motivos estéticos, los ladrillos se colocan con las llagas alineadas, es decir, sin aparejar. En estos casos se puede restituir la falta de traba entre las piezas incorporando armadura de tendel.

El espesor del muro puede ser de uno o más tizones. Habitualmente, al muro de espesor igual a un tizón se le denomina *muro de  $\frac{1}{2}$  pie*; y al muro de espesor igual a una soga (dos tizones más una junta) se le denomina *muro de 1 pie*. Los posibles aparejos se pueden agrupar en tres tipos fundamentales, según el espesor total del muro que se desee obtener:

- **Aparejo a sogas:** la pieza se apoya sobre su tabla y la testa es normal al plano del muro, resultando la dimensión de soga paralela al mismo. El espesor del muro resultante es de  $\frac{1}{2}$  pie (el tizón) y constituye el tipo de aparejo utilizado con mayor frecuencia en la construcción de cerramientos de fachada de ladrillo cara vista.
- **Aparejo a tizones:** también llamado a *la española*. La pieza está apoyada sobre su tabla y la testa es paralela al plano del muro, resultando la dimensión del tizón paralela al mismo. El espesor del muro resultante es de 1 pie (la soga). Su campo de aplicación fundamental es la construcción de muros de carga, generalmente con ladrillo común para revestir.
- **Aparejo a sogas y tizones:** las piezas se van combinando a soga y tizón de diversas maneras, bien en hiladas alternas (aparejos inglés y

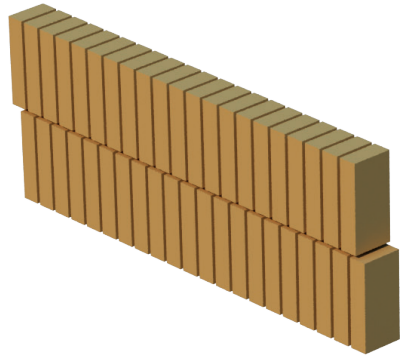
8. Se entiende como *dimensión modular* de una pieza a la dimensión teórica de fabricación más el espesor de una junta.

belga) o en la misma hilada (aparejos flamenco y holandés). El espesor del muro resultante es de 1 pie (la soga) y se suele utilizar en la construcción de fachadas de ladrillo cara vista cuando al muro es muy esbelto o debe cumplir, además, una función portante. Su traba es mejor que la correspondiente al aparejo a tizones, pero su ejecución es más complicada y requiere mano de obra experimentada.

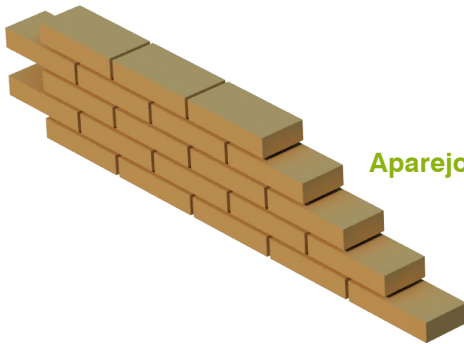
Se citan aquí, para completar las posibilidades de aparejo con piezas de ladrillo, otros tipos utilizados habitualmente, aunque no en la construcción de cerramientos de fachada ni en muros que requieran alguna prestación de tipo mecánico.

- **Aparejo a panderete:** la pieza se apoya en el canto y la tabla es paralela al plano del muro. El espesor del muro es el grueso de la pieza (la menor dimensión) por lo que no está preparado para resistir cargas exteriores, excepto su propio peso. Se emplea exclusivamente para la ejecución de tabiques.
- **Aparejo palomero:** es un aparejo a panderete, pero dejando huecos entre las piezas horizontales. Se emplea en la construcción de tabiques provisionales que deben permitir la ventilación de la estancia, y para conformar la pendiente en faldones de cubierta.

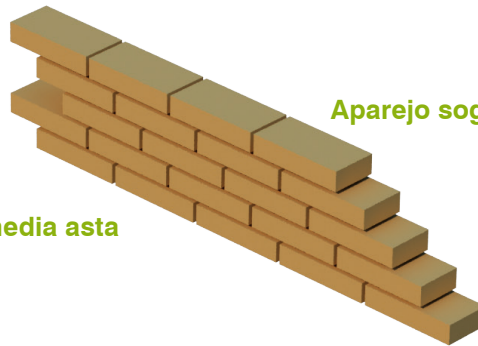
Aparejo de muros de 1/2 pie



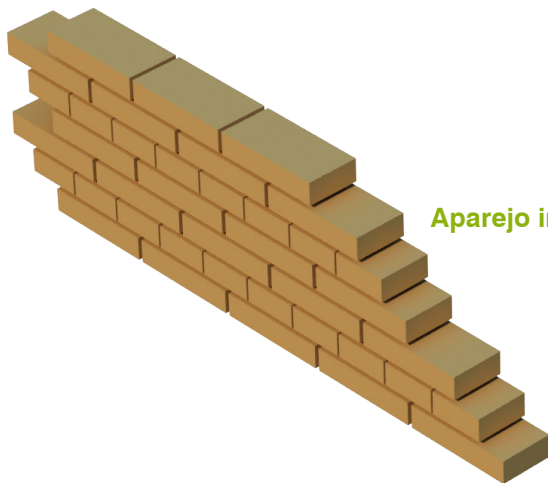
Aparejo a sardinel



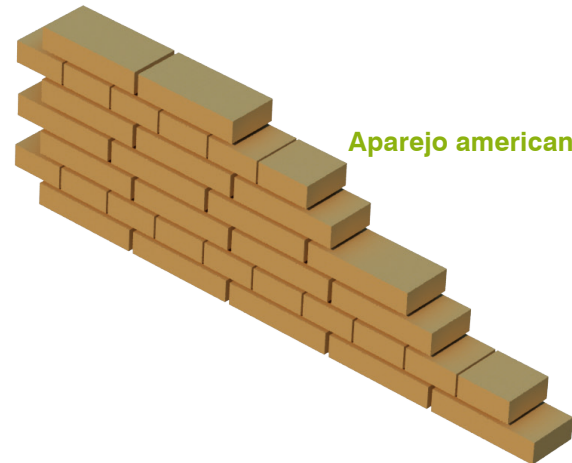
Aparejo sogá a media asta



Aparejo sogá a tercio de asta



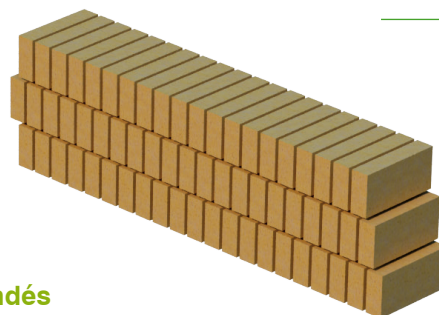
Aparejo inglés antiguo



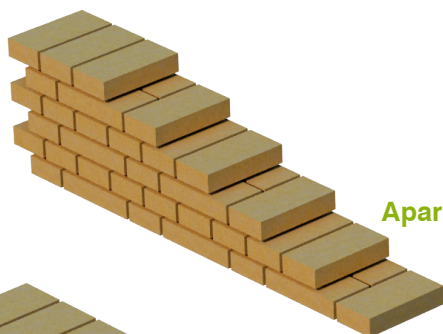
Aparejo americano



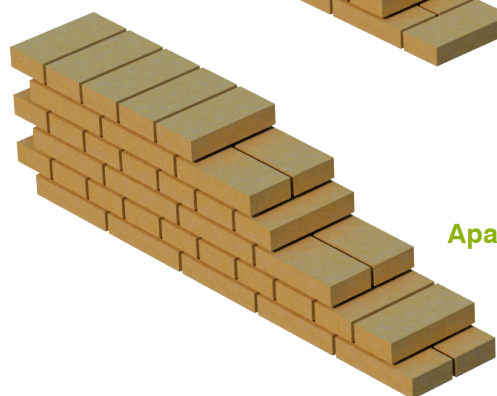
Aparejo de muros de 1 pie



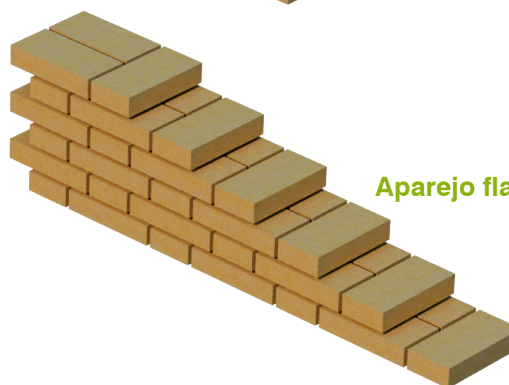
Aparejo a sardinel



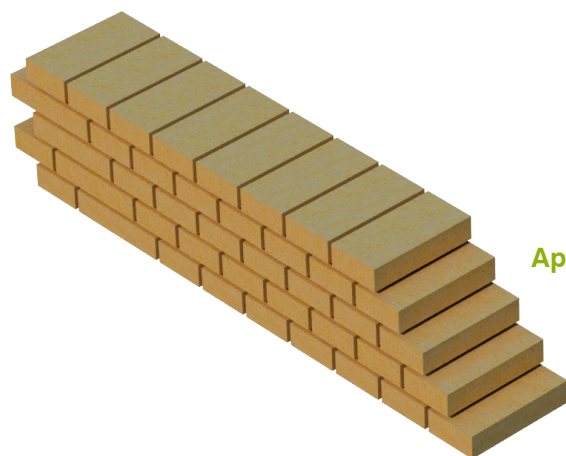
Aparejo holandés



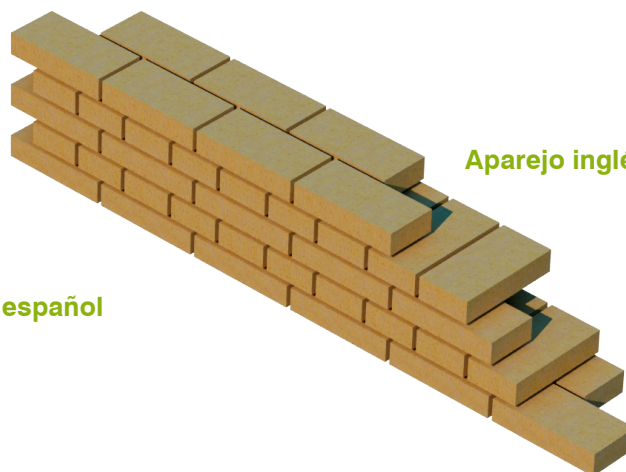
Aparejo belga



Aparejo flamenco o gótico



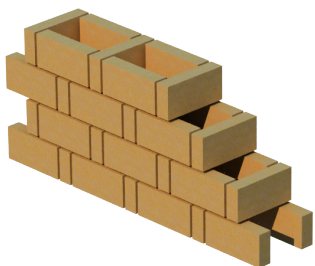
Aparejo español



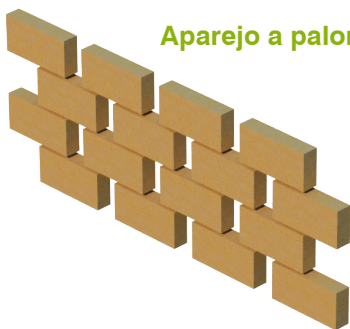
Aparejo inglés

## Otros aparejos

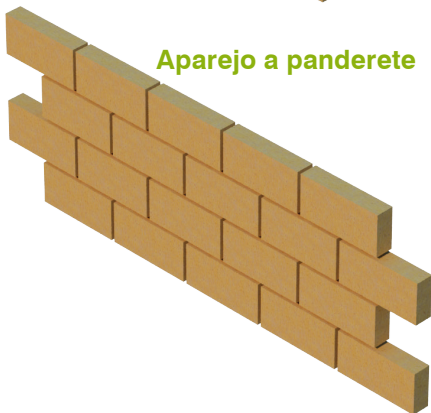
### Aparejo a panderete y sardinel



### Aparejo a palomero



### Aparejo a panderete



## 3.2.3 Tipos de muros

Con relación a los diferentes procedimientos que se pueden utilizar para conseguir una trabazón estable de las piezas que constituyen los muros, estos se clasifican en los siguientes tipos:

### Muro aparejado de una hoja

Es el realizado con un solo tipo de piezas, con espesor igual a uno o más tizones.

En este tipo de muro el aparejo debe ser tal que todas las piezas queden trabadas en una o más direcciones en todo su espesor (sin cámara ni sutura continua).

### Muro verdugado

Es un muro aparejado de una hoja, según las condiciones del apartado anterior, y que alterna “*témpanos*” con “*verdugadas*” o hileras de ladrillo más resistente.

Las verdugadas tienen la misión de dar más resistencia al muro. La altura de cada verdugada debe ser no menor de dos hiladas; y la altura del témpano, menor que siete veces la altura de la verdugada.

### Muro doblado

Está formado por dos hojas paralelas, con una sutura continua entre ellas, de ancho no mayor de 25 mm. Las dos hojas deben ir enlazadas eficazmente mediante anclajes capaces de transmitir las acciones laterales entre ellas, con un área mínima de  $300 \text{ mm}^2/\text{m}^2$  de muro, dispuestos uniformemente en número no menor de dos unidades

por  $\text{m}^2$  de muro. La armadura de tendel también puede actuar como elemento de conexión entre las hojas siempre que cumpla los siguientes requisitos de cuantía mínima definidos en el DB SE-F, apartado 7.5.1 “*Sección mínima de la armadura*”:

- Área de armadura no menor del 0,03% de la sección vertical del muro.
- Separación vertical entre hiladas armadas no mayor de 600 mm.

Los elementos de enlace deben ser resistentes a la corrosión para el tipo de exposición correspondiente a la ubicación del muro.

### Muro apilastrado

Es un muro con resalto de pilastras ejecutadas simultáneamente y aparejándolas con él.

Esta solución se suele utilizar habitualmente cuando se prevén cargas importantes perpendiculares al muro. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las pilastras, aunque proporcionan al muro una mayor resistencia ante acciones verticales, para que produzcan una mejora considerable en la resistencia ante acciones horizontales, deben estar cargadas.

### Muro capuchino

Es un muro de dos hojas de piezas iguales o diferentes, normalmente separadas por una cámara intermedia, de ancho no superior a 110 mm, vacía o llena de un material no resistente.

Es habitual que en los muros capuchinos una de las dos hojas tenga función



portante. Esta función, en la mayoría de los casos, corresponde a la hoja interior. La hoja exterior recibe las acciones horizontales, que deben ser transmitidas a la hoja portante mediante anclajes o armaduras de tendel.

El número de anclajes o la cuantía de armadura de tendel que enlazan las dos hojas deben ser obtenidos mediante el cálculo de acuerdo con las acciones a que esté sometido el muro.

En cualquier caso, los anclajes o armadura tienen que ser resistentes a la corrosión para el tipo de exposición correspondiente a ubicación del muro.

#### Muro careado

Es el muro formado por dos tipos de piezas eficazmente trabadas entre sí de manera que trabajen solidariamente, de las cuales una pieza constituye la cara vista y la otra pieza constituye el trasdós.

#### Muro de revestimiento

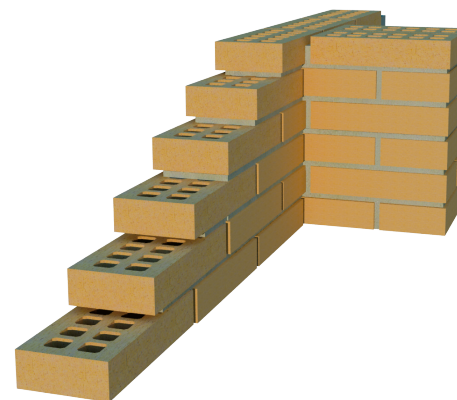
Es el muro que reviste exteriormente a otro muro o a un entramado sin estar trabado a ellos, por lo que no contribuye a la resistencia. Tanto su estabilidad como la transmisión de posibles acciones laterales entre ambos muros se suele resolver mediante anclajes que deben cumplir los mismos requisitos de protección indicados anteriormente.



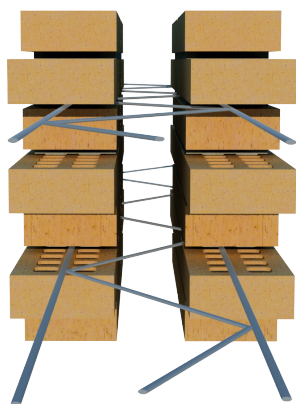
**Muros de una hoja  
(con sutura discontinua)**



**Muro doblado  
(con sutura continua)**



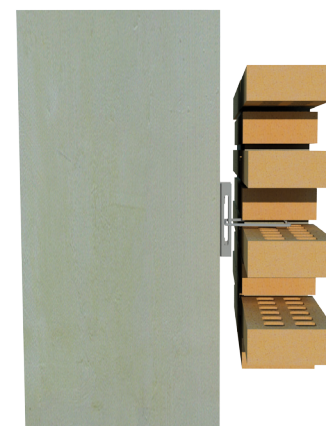
**Muro apilastrado**



**Muro capuchino  
(con cámara intermedia)**



**Muro careado**



**Muro de revestimiento**

### 3.2.4 Juntas verticales de movimiento

Las juntas verticales de movimiento son interrupciones en la continuidad de los paños de fábrica, cuya función es la de absorber deformaciones y evitar procesos patológicos producidos por la acumulación de tensión debida a una coacción impuesta al movimiento horizontal.

El objeto de la junta es parcelar el paño de fábrica para conseguir que las variaciones dimensionales posteriores a su ejecución sean compatibles con aspectos funcionales, como la estanquidad de las fachadas; con aspectos mecánicos, evitando los esfuerzos elevados que conllevan roturas de los elementos constructivos; o con aspectos estéticos, evitando la aparición de fisuras descontroladas o el desprendimiento del material de acabado.

En las fábricas de ladrillo cerámico, el factor fundamental que determina la necesidad de incorporar juntas verticales de movimiento es el fenómeno

de expansión por humedad, que puede llegar a producir esfuerzos importantes por el aumento de volumen de los ladrillos con el paso del tiempo.

Otros factores que causan movimientos impuestos con el consiguiente riesgo de fisuración son la rigidez y la retracción de los morteros de cemento muy resistente y poco dúctil; y las variaciones dimensionales de origen térmico, que están directamente relacionadas con las condiciones de exposición de los paños, la orientación geográfica de los mismos y su textura y color<sup>9</sup>.

La incorporación de juntas verticales de movimiento en el proyecto de las fábricas ha tenido lagunas en la normativa. Hasta la entrada en vigor del Código Técnico, en donde se suministran recomendaciones para las distancias máximas entre juntas en elementos de fábrica, la única norma que se refería a este aspecto era la Norma Básica de la Edificación FL-90, que sólo afectaba a muros de carga, no a cerramientos.

La NBE FL-90 prescribía la disposición de juntas verticales cada 40 m ó 50 m, en clima marítimo, según la resistencia del mortero; y cada 30 m ó 40 m, en clima continental. Estos valores, para los cerramientos de fachada, en algunos casos son excesivamente elevados.

Por ello, y con objeto de establecer los criterios para el proyecto de juntas de movimiento, es necesario diferenciar si los paños de fábrica tienen función portante y, por tanto, el movimiento horizontal está coaccionado por los forjados a los que sustenta; o se trata de paños cuya única función es de cerramiento.

En el primer caso, las separaciones entre las juntas de movimiento se deben establecer según los criterios que condicionan la distancia entre juntas estructurales, puesto que se deben situar, necesariamente, en continuación con las juntas previstas en los forjados a los que sustenta el muro.

En el segundo caso, el Eurocódigo 6 (UNE-ENV 1996-2:1998) “Proyecto de estructuras de fábrica. Parte 2: Proyecto, selección de materiales y ejecución de fábricas” en la tabla 2.2 indica, con carácter general, que la separación horizontal máxima recomendada entre juntas de movimiento es de 12 m para los muros de fábrica de ladrillo<sup>10</sup>.

El DB SE-F afina bastante más en este aspecto. En el artículo 2.2 “Juntas de movimiento” establece las distancias máximas de paños correspondientes a fábricas sustentadas de diferentes materiales. En el caso de fábricas de material cerámico las longitudes máximas de los paños están condicionadas fundamentalmente por el índice de ex-

Tabla 3.5 Distancia entre juntas de movimiento de fábricas sustentadas de ladrillo cerámico

Fábrica de ladrillo cerámico <sup>(1)</sup>		
Retracción final (mm/m)	Expansión final por humedad (mm/m)	Distancia entre juntas (m)
≤ 0,15	≤ 0,15	30
≤ 0,20	≤ 0,30	20
≤ 0,20	≤ 0,50	15
≤ 0,20	≤ 0,75	12
≤ 0,20	≤ 1,00	8

<sup>(1)</sup> Se puede interpolar linealmente.

\*Fuente: “Código Técnico de la Edificación DB SE-F. Tabla 2.1”.



pansión final por humedad de las piezas, y pueden oscilar desde 8 m hasta 30 m. La tabla 3.5 resume los valores de distancias máximas recomendadas para fábricas de ladrillo.

Los valores de la tabla 3.5 tienen un carácter orientativo para casos generales, aunque son susceptibles de algunos matices.

Si el muro es de directriz curva se debe disminuir las distancias entre juntas verticales de movimiento, dependiendo de la curvatura del muro.

También es prudente reducir a la mitad la distancia de la primera junta al extremo arriostrado de un muro y en los petos de azoteas, sobre todo cuando la planta es quebrada.

La incorporación de armadura de tendel permite aumentar la distancia entre juntas, proporcionalmente a la cuantía dispuesta, y así lo reconoce el EC-6, aunque esta circunstancia no ha sido incorporada en el DB SE-F. Existe ya una larga experiencia en el empleo de fábrica armada, de la que

se puede deducir que, con cuantías en torno a las mínimas establecidas por control de fisuración, la distancia entre juntas se puede aumentar hasta un 30% aproximadamente. Por ello, se recomienda el empleo de armadura de tendel en paños largos en los que, por exigencias de proyecto, se desea evitar los cortes en la fábrica que toda junta supone.

Otro recurso útil para conseguir aumentar ligeramente las distancias entre juntas consiste en el empleo de morteros bastardos, a los que se incorpora una parte de cal en la mezcla, debido a que producen fábricas menos propensas a fisuración por movimientos incompatibles.

En cualquier caso, además de fragmentar los paños largos a las distancias indicadas, es conveniente disponer juntas verticales de movimiento en las siguientes zonas:

- Próximas a las esquinas, si las longitudes de los paños que las conforman superan ligeramente los valores establecidos en la tabla 3.5.

9. Considerando un salto térmico entre 30°C y 70°C según las distintas zonas climáticas y las distintas orientaciones de fachada, la variación dimensional de las fábricas de ladrillo cerámico está comprendida entre 0,18 mm/m y 0,84 mm/m.

10. Aclara explícitamente que se refiere a muros exteriores no armados y no estructurales.

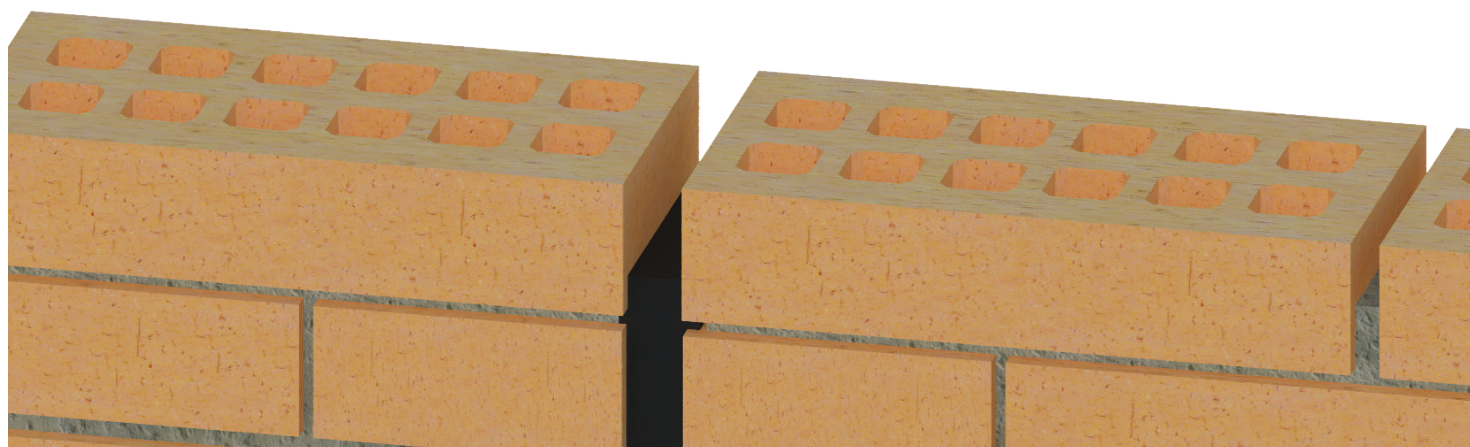
- En paños en los que se producen pequeños quiebros de esquina en Z, con tramos de menos de 1 m de longitud. En esta situación la junta de movimiento evita la aparición de una fisura vertical debido al giro diferencial entre ambos paños.

- En el encuentro entre paños de diferente altura o diferente material.

- En prolongación de huecos verticales muy alargados.

- A lo largo de las líneas de cambio en el espesor de los muros.

- En las juntas estructurales del edificio.



Desde el punto de vista de la estabilidad del muro, la junta genera una interrupción en la traba, lo que puede favorecer el movimiento de la fábrica en sentido perpendicular a su plano frente a acciones horizontales (por ejemplo, viento). En este sentido, es recomendable incorporar llaves de atado que permiten el movimiento en sentido longitudinal y traben la fábrica en sentido transversal, evitando la característica “ceja”.

Desde el punto de vista resistente, la junta supone una interrupción en la transmisión de esfuerzos, como si se tratase de dos muros independientes situados en prolongación. También por esta razón es recomendable incorporar llaves de atado que permitan el movimiento en sentido longitudinal y garanticen la continuidad de esfuerzos cortantes entre las dos partes del muro.

Las juntas de movimiento se pueden ejecutar rectas o endentadas, adaptándose al aparejo de la fábrica. En cualquier caso deben atravesar el espesor de la hoja y cualquier revestimiento que no sea suficientemente flexible para asumir la variación dimensional.

#### Dimensionado del ancho de junta

El ancho de la junta depende del movimiento previsto y del tipo de sellante. Este material debe tener una capacidad de comprimirse y recuperar su estado inicial en una horquilla de valores que oscila entre el 25% y el 50% de su espesor inicial.

La junta de movimiento se debe dimensionar para que, ante una dilatación, los paños que la conforman a ambos lados no lleguen a tocarse y, ante una

contracción, no lleguen a despegarse<sup>11</sup>. Las variables que intervienen en el cálculo son, por una parte, la magnitud de la variación dimensional prevista para la longitud del paño y, por otra, el módulo de elasticidad del sellante.

En el caso de juntas destinadas a absorber las variaciones dimensionales de origen térmico, para determinar el ancho estricto de la junta vertical de movimiento se puede tomar como coeficiente de dilatación térmica de la fábrica de ladrillo el valor de  $6 \cdot 10^{-6} \text{ m} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ . Para las separaciones de juntas indicadas en fábricas de material cerámico y con los sellantes habituales disponibles en el mercado, puede estar comprendido entre 10 mm y 20 mm.<sup>12</sup>

En las fábricas de material cerámico se puede despreciar la deformación diferida por el fenómeno de fluencia.

En zonas sísmicas con aceleración de cálculo  $a_c$  mayor de 0,09g, para atender a criterios de libre deformación, la anchura mínima de la junta está relacionada con la altura total del edificio. La regla es la siguiente:

$$e_{\min} \geq 4 \cdot (a_c / g) \cdot H$$

siendo:

- $e_{\min}$  → ancho mínimo de junta, en cm
- $a_c / g$  → razón entre la aceleración de cálculo y la aceleración de la gravedad
- $H$  → altura del edificio en m
- $e$  → anchura de la junta en cm

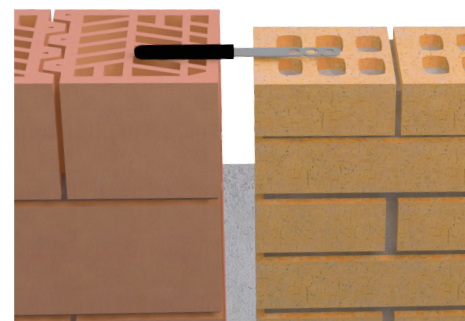
### 3.2.5 Fábricas de diferentes materiales

En obras de fábrica es conveniente que todos los muros que forman parte de una unidad constructiva sean del mismo material. Sin embargo, se pueden combinar diferentes materiales, siempre que los valores de resistencia a compresión y módulo de deformación de las respectivas fábricas sean similares, y la traba o unión se ejecute correctamente.

El cambio de material debe ser considerado en el proyecto. La compatibilidad modular necesaria para una buena traba entre los diferentes muros debe ser objeto de un detalle gráfico específico.

Si los muros de diferente material están situados en prolongación, la unión entre ellos se debe resolver interponiendo una junta vertical de movimiento.

Si los muros están situados en paralelo o acomete uno contra otro en perpendicular, la unión se puede hacer, bien mediante anclajes, o bien mediante armaduras de tendel situadas en las hieladas coincidentes. En cualquier caso, es conveniente que los muros que se enlazan se levanten simultáneamente.



### 3.2.6 Fábrica armada

Los orígenes de la fábrica armada se remontan al inicio de la construcción de elementos estructurales tabicados, en los que se dotaba de un ligero armado a los tableros de fábrica que conformaban la estructura fundamental. En general, se trataba de soluciones abovedadas, en las que la armadura tenía la función de absorber las tracciones no deseadas derivadas de empujes horizontales.

En la actualidad existe una tendencia, cada vez más generalizada, a utilizar el armado de las fábricas para mejorar su comportamiento mecánico, especialmente en los aspectos relacionados con la durabilidad, evitando o restringiendo al máximo el riesgo de fisuración.

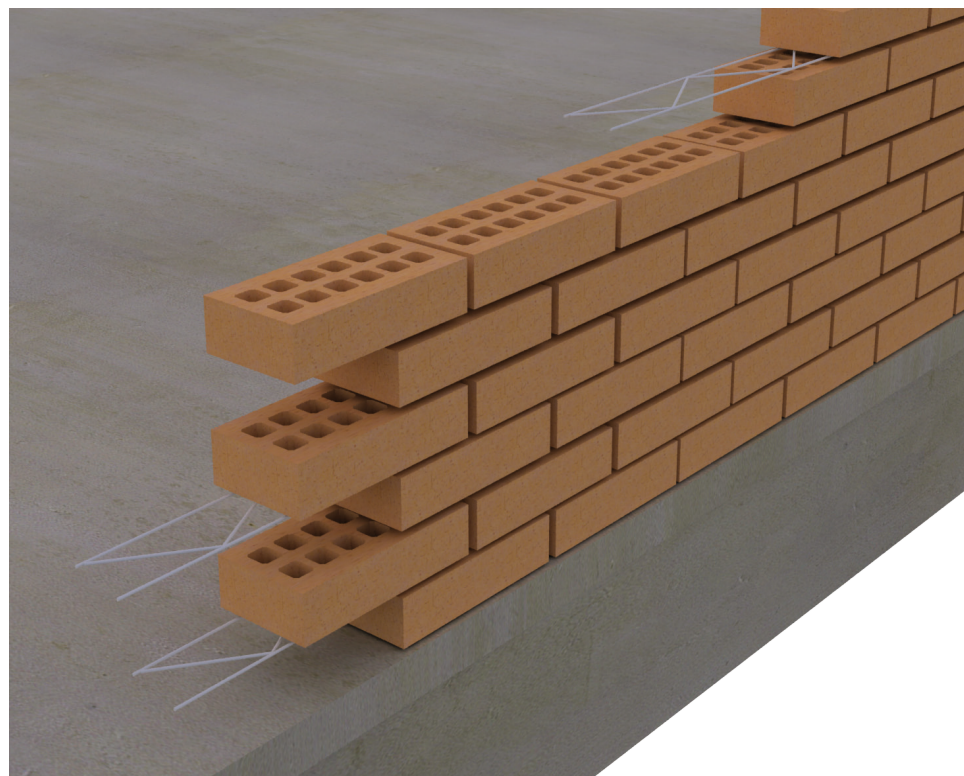
Este armado se consigue, con carácter general, disponiendo armaduras prefabricadas en los tendeles, constituyendo así un material compuesto, con comportamiento dúctil frente a acciones horizontales de sismo o viento y frente a concentraciones locales de tensión por diversas causas.

La *fábrica armada* es a la fábrica tradicional lo que el *hormigón armado* es al hormigón en masa. Las armaduras embutidas en la masa del muro, no sólo aumentan sus prestaciones resistentes y funcionales, sino que modifican la naturaleza del material. La trascendencia que tiene en la fase de proyecto la decisión de utilizar fábrica armada es importante. En primer lugar, porque las armaduras son objeto de dimensionado en función del papel estructural que se les asigne y, en segundo lugar, porque los modelos de

comportamiento y análisis utilizados para los elementos de fábrica armada son diferentes a los modelos utilizados para el cálculo de la fábrica tradicional.

Conviene destacar aquí las diferencias fundamentales que existen entre la *fábrica armada* y la *fábrica confinada* entre elementos armados.

La fábrica armada es un material compuesto, con propiedades físicas y mecánicas específicas; por el contrario, la fábrica confinada es fábrica tradicional yuxtapuesta a elementos estructurales, que requiere la consideración de los efectos derivados de la consiguiente incompatibilidad entre elementos de naturaleza diferente.



11. El proceso patológico que se genera por una dimensión insuficiente en el ancho de junta, o por un inadecuado módulo de elasticidad del sellante, es la aparición de una segunda junta paralela, en forma de grieta.

12. Sin embargo, el cálculo posee una variable más que viene determinada por la temperatura de la fábrica en el momento de construcción de la junta. Además, la deformación porcentual del sellante o, lo que es lo mismo, la variación de la anchura de la junta de movimiento construida, en tanto por ciento, depende de la *anchura nominal* o anchura de construcción en un instante dado.

Cuando se trata de fábrica armada, las armaduras se alojan en el interior del muro sin perturbar su organización ni modificar el aparejo.

Las armaduras se embuten en el mismo mortero utilizado para la ligazón de las piezas, y la transmisión de esfuerzos se realiza directamente por adherencia.

Cuando se trata de fábrica confinada, las armaduras se suelen alojar en elementos de hormigón, y la transmisión de esfuerzos entre la fábrica y el elemento armado se realiza por confinamiento, lo cual requiere la presencia de esfuerzos adicionales de compresión que no siempre se pueden garantizar y, en determinados casos, pueden producir efectos secundarios, como riesgo de pandeo o acumulación de carga.

La fábrica armada tiene perfectamente definido el modelo de respuesta estructural, para poder utilizarlo en el proyecto con todas las garantías de un perfecto comportamiento.

La mejora del comportamiento que supone el armado de la fábrica es importante, no sólo para incrementar sus prestaciones mecánicas, sino para dotar a los muros, especialmente a los de cerramiento, de los requisitos de durabilidad que están ligados con factores de índole estética o de estanquidad, entre otros.

Las armaduras embutidas en los tendeles de la fábrica mejoran sustancialmente su comportamiento ante la

acción de factores que son difíciles de cuantificar, tales como:

- La retracción y fluencia no tanto de la propia fábrica, sino de la estructura que la sustenta.
- Las variaciones dimensionales de carácter térmico e higrométrico, entre las que hay que resaltar la expansión por humedad de los materiales cerámicos.
- Las deformaciones excesivas de vigas planas y asientos diferenciales.
- Las deformaciones irregulares, de difícil cuantificación, debidas a la falta de homogeneidad o continuidad geométrica de los paños de fachada, sobre todo cuando alternan entrantes con salientes en voladizo, o coexisten huecos muy dispares con tramos ciegos de un mismo paño.

En función del papel estructural y de la naturaleza de los principales esfuerzos que deba resistir el elemento, las armaduras se pueden colocar en el interior del muro en diferentes posiciones y orientación.

El procedimiento más habitual de armar las fábricas consiste en disponer armaduras prefabricadas alojadas en los tendeles en posición horizontal. Ello se debe a la gran facilidad de montaje, puesto que es posible organizar el armado por hiladas, a la vez que se ejecuta el muro.

En general, es conveniente en todo tipo de fábricas la disposición de un armado homogéneo en los tendeles, con una cuantía mínima de 0,03% de la sección del muro y, en cualquier caso, se recomienda la disposición de, al menos, un armado puntual en las zonas más propensas a la fisuración, entre las que cabe señalar las siguientes:

- En el arranque de la fábrica, para evitar la fisuración producida por posibles asientos diferenciales o deformaciones excesivas de los elementos estructurales sobre los que se sustenta.
- En las discontinuidades geométricas del muro, tales como el cambio de sección, especialmente en los encuentros con soportes en muros de cerramiento.
- En los encuentros entre muros cuando éstos no se resuelven trabando las piezas.
- En las discontinuidades mecánicas del muro, tales como la zona circundante a los huecos, en las que se producen concentraciones de carga o tensiones locales de tracción.

Si se asigna una función estructural a la fábrica armada, tanto el número de tendeles armados como la cuantía de armadura dispuesta, se debe determinar mediante el análisis, en función de la sollicitación del elemento. El cálculo pormenorizado se detalla en la sección de *Requisitos*.

### 3.3. Criterios de suministro, recepción y acopio de materiales

Las condiciones de suministro y recepción de los materiales para la ejecución de fábricas están reguladas por el DB SE-F y las Normas UNE correspondientes a cada uno de ellos, donde se establecen las prescripciones técnicas particulares, métodos de ensayos y criterios generales para la aceptación o rechazo de las partidas a su llegada a obra. Algunas de estas normas se han citado en la sección correspondiente a *Componentes*.

#### 3.3.1 Suministro y recepción de los ladrillos cerámicos

Es recomendable que, antes del suministro a obra, los ladrillos queden depositados en fábrica, con las debidas condiciones de humedad y temperatura, al menos durante el período en que se desarrolla el fenómeno de expansión por humedad en su mayor porcentaje (como mínimo, un tiempo entre 15 y 30 días).

Los ladrillos se deben suministrar a obra perfectamente empaquetados en embalajes no herméticos para permitir la absorción de la humedad del ambiente, y paletizados para facilitar su descarga por medios mecánicos<sup>3</sup>. Los embalajes deben ser suficientemente estables y resistentes, y los palets deben ser cargados de manera que no vuelque o caiga el material; si son frágiles o están en mal estado, al utilizarlos en la obra para el movimiento del material pueden originar residuos e incluso constituir un peligro potencial para la seguridad de los trabajadores.

Cuando se trate de piezas especiales, se deben extremar las medidas de protección, almacenaje y manipulación, puesto que resulta complicado reemplazarlas en caso de deterioro, además de tener un coste mayor que los ladrillos normales.

En obra se deben identificar los ladrillos suministrados por el fabricante. Los datos necesarios para ello, que deben estar reflejados en el albarán o en el empaquetado, son los siguientes:

- el nombre del fabricante y, en su caso, la marca comercial
- el tipo (macizo, perforado o hueco)
- la clase (común o visto)
- la resistencia a compresión (expresada en N/mm<sup>2</sup>)
- las dimensiones nominales en milímetros de soga, tizón y grueso
- el sello de control de calidad de la entidad encargada (marca AENOR) si lo tiene concedido y el marcado CE.

La recepción debe ser realizada por la dirección facultativa o persona debidamente acreditada en quien delegue, que podrá solicitar la presentación de certificados de ensayo, realizados por un laboratorio debidamente acreditado.

A la llegada del material a obra, la dirección facultativa o persona en quien delegue debe realizar un control previo inspeccionando el material y, si procede, tomando las muestras para realizar los ensayos de control (*ver Criterios de control*). Cuando los ladrillos suminis-

13. La descarga de ladrillos por vuelco de la caja del vehículo de transporte produce un gran número de piezas rechazables por rotura o desconchado.

trados estén amparados por la marca AENOR o el marcado CE, se puede simplificar el procedimiento de recepción, prescindiendo de los ensayos de control. Cualquier anomalía observada en los ladrillos suministrados debe ser comunicada al fabricante siempre antes de su puesta en obra.

Es recomendable disponer en obra de una muestra de varios ladrillos representativa de la gama de tonalidades, que sirve para comprobar que la partida se encuentra dentro de dicha gama. Las piezas patrón y las que se utilicen para la comparación de color deben permanecer limpias y secas en todo momento.

Es conveniente que la descarga se realice directamente en las plantas del edificio, situando los palets cerca de los soportes de la estructura, evitando la colocación de éstos en el centro de los vanos de vigas o forjados, con el fin de no someter a grandes cargas a estos elementos. Debe ser posible localizar e identificar las diversas partidas en la obra. Siempre que se pueda, el traslado se debe realizar con medios mecánicos.

Los ladrillos no deben estar en contacto con el terreno, ya que pueden absorber humedad o sales solubles provocando en la posterior puesta en obra la aparición de manchas y eflorescencias. Se deben apilar sobre superficies limpias,

planas, horizontales, y en lugares protegidos donde no se produzcan aportes de agua ni se realicen otros trabajos de la obra que los puedan manchar o deteriorar. En invierno se debe tener especial cuidado para proteger los ladrillos de las heladas.

Cuando se utilicen ladrillos de baja succión, klínker o hidrofugados, se debe quitar el plástico del palé dos días antes de su puesta en obra, ya que es fundamental colocarlos completamente secos.

### 3.3.2 Suministro y recepción del cemento

La recepción de cementos está regulada por la Instrucción RC-08. El cemento para albañilería debe disponer del *Certificado CE de Conformidad* expedido por un organismo notificado y de la *Declaración de Conformidad CE* elaborada por el propio fabricante. Los cementos de características específicas, entre ellos el cemento blanco, mientras no dispongan de las normas armonizadas correspondientes, están sujetos a lo dispuesto en el Real Decreto 1313/1998 de 28 de octubre y, en consecuencia, deben disponer del *Certificado de Conformidad* con los *Requisitos Reglamentarios*.

La recepción hay que llevarla a cabo en el lugar de suministro del cemento, ya sea en la central de mortero preparado, en obra o en cualquier otra instalación en la cual se vaya a emplear el cemento para la fabricación de otros tipos de materiales de construcción, o en la que se vaya a efectuar con el mortero cualquier operación distinta a su almacenamiento o transporte. Si el receptor retirase el cemento de la

fábrica o instalaciones del suministrador, la recepción y consiguiente toma de muestras se debe hacer en dicho lugar y en ese momento.

Los cementos se pueden suministrar en sacos adecuados o a granel, mediante instalaciones especiales de transporte, cubas en buen estado o sistemas similares con el hermetismo y seguridad necesarios para garantizar su perfecta conservación, sin que sufra alteración su contenido y preservando el medio ambiente.

La identificación de los cementos suministrados en obra se realiza mediante el albarán y el etiquetado, que deben contener, al menos, los siguientes datos:

#### • Hoja de suministro o albarán:

- Número de referencia del pedido.
- Nombre y dirección del comprador y punto de destino del cemento.
- Identificación del fabricante y de la empresa de suministro.
- Designación normalizada del cemento suministrado conforme a la Instrucción RC-08.
- Cantidad que se suministra.
- Referencia a los datos del etiquetado correspondiente al mercado CE o contraseña del Certificado de Conformidad con los Requisitos Reglamentarios.
- Fecha de suministro.
- Identificación del vehículo que lo transporta (matrícula).

• **Etiquetado** o conjunto de información que debe ir impresa sobre el envase o, en su caso, en la documentación que acompaña al cemento:

- El marcado CE propiamente dicho, es decir, el símbolo o pictograma del marcado CE y el número de identificación del organismo certificador.

- Nombre o marca distintiva de identificación y dirección registrada del fabricante.

- Número del Certificado CE de Conformidad.

- Las dos últimas cifras del año en que el fabricante puso el marcado CE.

- Indicaciones que permitan identificar el producto, así como sus características y prestaciones declaradas, atendiendo a sus especificaciones técnicas.

- Referencia a la norma armonizada pertinente o contraseña del Certificado de Conformidad con los Requisitos Reglamentarios.

- Designación normalizada del cemento, indicando el tipo, subtipo (según los componentes principales) y clase resistente.

- En su caso, información adicional referente al contenido de cloruros, al límite superior de pérdida por calcinación de ceniza volante y/o al aditivo empleado.

- Fecha de fabricación y de envasado, indicando semana y año.





- Condiciones específicas aplicables a la manipulación y utilización del producto.

El almacenamiento de los cementos a granel, una vez aceptada la remesa, se debe hacer en silos estancos evitando, en particular, su contaminación con otros cementos de tipo y/o clase de resistencia distintos. Los silos deben estar protegidos de la humedad y tener un sistema o mecanismo de apertura para la carga en condiciones adecuadas desde los vehículos de transporte, sin riesgo de alteración del cemento. Los diferentes tipos de conglomerantes se deben almacenar por separado para evitar su mezcla.

El almacenamiento de los cementos envasados, una vez aceptada la remesa,


se debe realizar sobre palés o plataformas similares, en locales cubiertos, ventilados y protegidos de las lluvias y de la exposición directa del sol. Las instalaciones de almacenamiento, carga y descarga del cemento deben disponer de los dispositivos adecuados para minimizar las emisiones de polvo a la atmósfera.

Los componentes hidráulicos de los conglomerantes son muy sensibles a la humedad. Aunque las condiciones de conservación sean buenas, como norma general, el almacenamiento del cemento en obra no debe ser muy prolongado para evitar su meteorización. En particular, el cemento de clase de resistencia 32,5 no debe estar almacenado en obra un periodo de tiempo superior a tres meses<sup>14</sup>.

14. El tiempo máximo de almacenamiento de los cementos de clases superiores es menor. Los cementos de clase resistente 42,5 y 52,5 no deben estar almacenados más de dos meses o un mes, respectivamente. No obstante, cuando el período de almacenamiento de un cemento haya sido superior a 30 días se debe realizar el ensayo de fraguado y el de resistencia mecánica a 3 y 7 días, sobre una muestra representativa del mismo. Si los resultados no cumplen las condiciones de la *Instrucción RC-08* se pueden hacer ensayos para determinar la resistencia del mortero a 28 días, siendo estos resultados decisivos para aceptar o rechazar dicho cemento.

Fábrica 2 Ciudad. País  <b>DCE-XXXX</b>  06/10 + 08/10  I 42,5 R-LH/SR UNE 80303-1	Nombre y marca identificativa de la fábrica  Contraseña del Certificado de Conformidad con los Requisitos Reglamentarios  Fechas de fabricación y de envasado (indicando semana y año)  Nombre del producto (designación)
--	---

“Ejemplo de etiquetado de cemento sujeto al Real Decreto 1313/1988”

 <b>0123</b> <sup>1)</sup> Empresa <b>Dirección registrada</b> <b>Fábrica</b> Año (o sello con la fecha) <b>0123-CPD-0456</b> EN 197-1  CEM I 42,5 R  Información Adicional	El marcado CE de conformidad consiste en el símbolo «CE» dado en la directiva 93/68/EEC  Número de identificación del organismo de certificación Nombre o marca comercial del fabricante Dirección del fabricante Nombre o marca comercial de la fábrica donde se produce el cemento Los dos últimos dígitos del año en que el fabricante puso el marcado CE  Número de certificado de conformidad CE Número de norma europea Ejemplo de designación normalizada que indique el tipo de cemento y su clase de resistencia, tal y como se especifica en el capítulo 8 de la Norma Europea EN 197-1 Límite de cloruros, <sup>2)</sup> en %. Límite superior de pérdida por calcinación de cenizas volantes, <sup>3)</sup> en %. Notación normalizada de los aditivos empleados <sup>4)</sup> .
--	---

1) Número de organismo notificado asignado por la Comisión Europea y que figura en la siguiente página web: < <http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/nando/>>.  
 2) Sólo cuando el cemento se produce para cumplir con un límite de contenido de cloruros diferente al valor especificado en la Tabla A1.1.1 del Anexo 1 de esta Instrucción.  
 3) Sólo cuando se use ceniza volante como componente principal.  
 4) Sólo cuando se use un aditivo de los que son conformes con la norma UNE EN 934.

“Ejemplo de etiquetado de cemento sujeto al mercado CE”

### 3.3.3 Suministro y recepción de la arena

Cada remesa de arena que llegue a obra se debe descargar en una zona de suelo seco, convenientemente preparada para este fin, en la que se pueda conservar limpia.

Las diferentes arenas hay que almacenarlas por separado, según su tipo, origen y granulometría, en lugares protegidos de la contaminación del ambiente exterior y del terreno. Si es preciso, es recomendable cubrir dichos lugares para evitar el exceso de temperatura, humedad o viento.

Los áridos especiales se deben disponer en suficiente cantidad, de una sola vez si es posible, para asegurar la homogeneidad del color en toda la obra.

### 3.3.4 Suministro y recepción del mortero

Si se utiliza mortero industrial, cada suministro debe ir acompañado del correspondiente albarán; y se debe verificar que las características recogidas en el proyecto y, especialmente, la dosificación y la resistencia a compresión que figuran en el envase corresponden a las solicitadas.

Los datos que deben figurar en la etiqueta, tanto para los morteros de albañilería diseñados como para los morteros prescritos<sup>15</sup>, además de la identificación del organismo notificado y del fabricante, son los relacionados con el uso al que está destinado el producto, con indicación expresa de los requisitos específicos (por ejemplo, requisitos estructurales), y los valores de los siguientes parámetros, determinados según la norma UNE-EN 998-2:2002 “Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería”, con los que el fabricante se compromete:

- Resistencia a compresión (categoría M) (N/mm<sup>2</sup>)
- Resistencia inicial al cizallamiento (N/mm<sup>2</sup>)
- Contenido en cloruros, sólo en caso de fábrica armada (%)
- Reacción frente al fuego (clase)
- Absorción de agua,  $c$  (kg / (m<sup>2</sup>·min<sup>0,5</sup>))
- Permeabilidad al vapor de agua,  $\mu$
- Conductividad térmica,  $\lambda$  (W / (m·K))
- Durabilidad<sup>16</sup> (ciclos hielo–deshielo)

Además, en el caso de los morteros prescritos, en la etiqueta debe constar la proporción de los componentes en volumen (cemento, cal y áridos).

Los suelos o superficies sobre las que se depositen los materiales que componen los morteros o la premezcla de cal y arena de los morteros preparados in situ, deben estar limpios, secos y libres de sustancias que puedan alterar las características o composición final de la mezcla. En tiempo frío se debe prever un ambiente protegido para asegurar que los morteros frescos no se hielen.

Estas mismas precauciones se deben tener en cuenta con los morteros industriales que se sirven en gran cantidad y quedan expuestos a la intemperie.

Los morteros secos se deben acopiar de manera que se permita su empleo de acuerdo al orden de recepción. Debido a que se distribuyen en bolsas, queda garantizada la protección de la masa a mezclar. No obstante, las bolsas deben estar protegidas del agua y del viento, ya que si se encuentran expuestos a la acción de este último, la mezcla puede ver reducido el número de finos que la componen, deteriorando sus características iniciales.

En todos los casos se deben vigilar y proteger los espacios dedicados al almacenamiento del mortero. La posible suciedad en el acopio de los materiales componentes, receptáculos de almacenaje, exposición al agua de lluvia, etc., puede influir en el aspecto final de las juntas de mortero, que devienen en cambios estéticos en los paños de fachada.

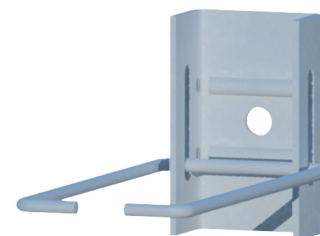
Lo ideal es producir el mortero que se va a consumir inmediatamente para evitar desperdicios o aprovechamientos lesivos.

### 3.3.5 Suministro y recepción de los elementos auxiliares

Los anclajes, llaves y armaduras de tendel deben estar claramente identificados. Es importante comprobar la documentación correspondiente al marcado CE de estos productos y la conformidad con las normas armonizadas correspondientes<sup>17</sup>.

El almacenamiento hay que realizarlo en soportes bajo cubierta, separados del suelo, alejados del barro, aceite, grasa, pintura o trabajos de soldadura. Especialmente se debe evitar el riesgo de depósitos superficiales que afecten a la adherencia y daños que inutilicen al elemento para su función, tales como posibles agrietamientos o erosiones que causen discontinuidades en la película autoprotectora.

Los dinteles y albardillas se deben apilar de forma correcta sobre un adecuado número de apoyos separados del suelo, y las pilas se deben proteger, si fuere necesario, contra manchas y salpicaduras, teniendo en cuenta cualquier exigencia específica de las instrucciones del fabricante.



### 3.4 Criterios de ejecución

En la ejecución de cualquier tipo de fábrica se deben observar los criterios establecidos en el DB SE-F, Capítulo 7 “Ejecución”, y se recomienda además la aplicación del Eurocódigo-6, partes 1-1 y 2. Se indican a continuación los aspectos que tienen especial interés en el proceso de construcción de elementos de fábrica convencional de ladrillo cerámico. Los procedimientos y detalles particulares de los puntos singulares se desarrollan posteriormente en secciones específicas.

#### 3.4.1 Muretes de referencia o de muestra

Son muros construidos antes de comenzar la ejecución de la fábrica, realizados con los mismos materiales y en las mismas proporciones que se pretenden utilizar. Sirven para observar el comportamiento del conjunto ladrillo - mortero y para comprobar que las piezas especiales se adaptan a la forma y el color requeridos. Es necesario construirlos especialmente cuando se va a utilizar ladrillo *cara vista*, sobre todo si se prevén aditivos en el mortero, para conocer cuál es la interacción entre el mortero con aditivo y el ladrillo, ya que se pueden producir reacciones entre ambos causando la aparición de eflorescencias, manchas o cambios de color.

Para la construcción de los muretes de muestra se debe escoger el color y tipo de ladrillo, así como la mezcla y el color de la junta que se haya decidido utilizar, aunque se pueden realizar diversas combinaciones. Es conveniente solicitar al fabricante que los ladrillos sean escogidos al azar.

Para su ubicación se deben elegir lugares bien iluminados por la luz natural, con objeto de poder apreciar realmente su aspecto, y de manera que puedan ser observados a una distancia no inferior a 3 metros, sin que algún objeto intermedio dificulte la visión.

Se deben construir sobre una base de hormigón, perfectamente nivelada y aislada de la humedad del terreno, protegiendo el muro en la parte superior para evitar que el efecto de la lluvia sature el ladrillo y modifique su apariencia; manteniéndolos durante el tiempo necesario para que la fábrica seque y se pueda apreciar su aspecto definitivo.

#### 3.4.2 Replanteo y nivelación

En las fábricas de ladrillo *cara vista* es fundamental la operación de replanteo para evitar en lo posible los engorrosos cortes de piezas y ajustes en las esquinas, quiebros o huecos.

El replanteo horizontal se realiza trazando la planta de los muros con el debido cuidado para que las dimensiones estén dentro de las tolerancias especificadas en proyecto. Los replanteos complementarios se deben referir a los fundamentales con objeto de minimizar los errores.

Se colocan miras sujetas y aplomadas, con todas sus caras escuadradas, a distancias no mayores de 4 metros y siempre en cada esquina, hueco, quiebro o mocheta. Los elementos de apoyo para materializar el replanteo deben estar convenientemente afianzados y suficientemente alejados del área de trabajo para permitir la circulación, maniobras y operaciones del personal y de la maquinaria.

15. El *mortero diseñado* es aquel cuya composición y sistema de fabricación han sido elegidos por el fabricante con el fin de obtener las propiedades especificadas, por ejemplo alcanzar una resistencia M5 (concepto de *prestación*). El *mortero prescrito* es el que se fabrica en unas proporciones predeterminadas y cuyas propiedades dependen de estas proporciones declaradas de los componentes (concepto de *receta*).

16. En relación a este último parámetro es suficiente una evaluación basada en disposiciones válidas en el lugar previsto de utilización del mortero.

17 Normas UNE-EN 845 “Especificación de componentes auxiliares para fábricas de albañilería” y Normas UNE-EN 846 “Métodos de ensayo de componentes auxiliares para fábricas de albañilería”.

En las miras se marca la modulación vertical y los niveles de antepechos y dinteles de huecos, situando un hilo tenso entre ellas y apoyado sobre las marcas realizadas. El hilo-guía se utiliza para alinear y nivelar el muro, sirviendo de referencia para ejecutar correctamente las hiladas horizontales; para ello, los ladrillos se colocan haciendo coincidir su borde exterior con el hilo.

Se comienza trazando la planta de los muros con piezas escogidas al azar, disponiendo la primera y segunda hilada en seco. Primero se replantean las esquinas y los huecos, debiendo hacerse el replanteo de los mismos en la primera hilada.

Teniendo en cuenta las tolerancias admisibles del ladrillo (sobre el valor nominal) y la máxima dispersión del modelo elegido, se determina el espesor necesario de la junta para que todas tengan una distribución regular y el mismo espesor, dado que la altura de las piezas es constante, siempre dentro de los límites indicados anteriormente.

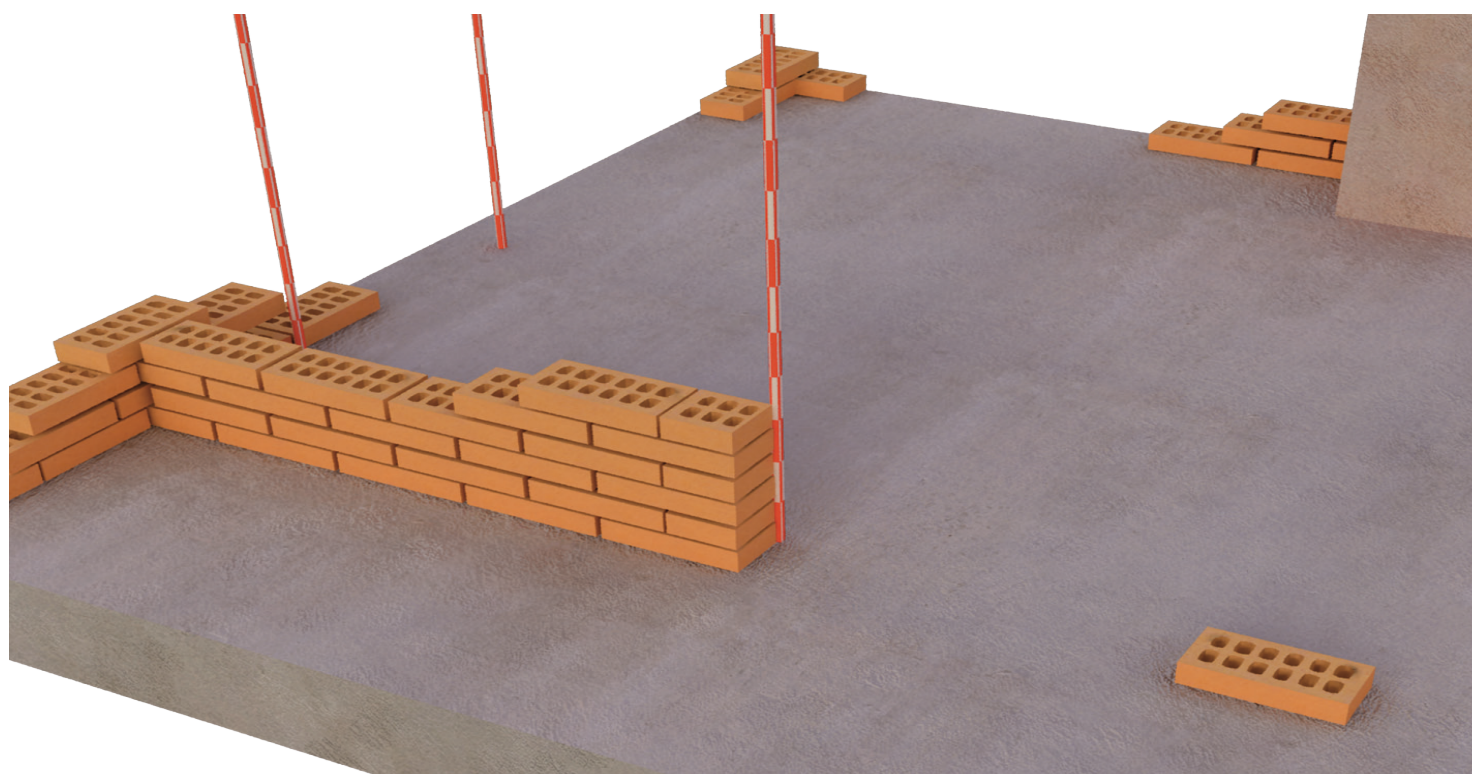
El plano de fachada se define mediante plomos que se bajan desde la última planta hasta la primera, con marcas en cada uno de los pisos intermedios, dejando referencias para que pueda ser reconstruido en cualquier momento el plano así definido.

Salvo indicación contraria en la especificación de proyecto, la fábrica se debe construir aplomada y con los tendeles nivelados horizontalmente, dentro de las pertinentes tolerancias admisibles.

Cuando la fábrica se construya con mortero fino y el forjado o cimentación sean demasiado rugosos o no lo bastante horizontales para permitir el empleo de mortero fino, la primera hilada de piezas de fábrica se puede colocar con mortero ordinario de resistencia apropiada. De acuerdo con los niveles de la obra es probable que la primera hilada deba ser asentada sobre mortero hidrófugo.

### 3.4.3 Amasado del mortero

Antes de su puesta en obra el mortero debe estar perfectamente mezclado hasta conseguir una masa homogénea sin exudación, utilizando la dosificación de mezcla adecuada para obtener las características de comportamiento requeridas. Cuando la especificación de proyecto no indica la dosificación de la mezcla, se deben elegir los materiales constituyentes, su dosificación y el método de mezcla basándose en ensayos o de acuerdo con el código de buena práctica en el lugar de empleo.



Replanteo de huecos

El amasado de los morteros para la ejecución de fábricas se debe hacer preferentemente con medios mecánicos, puesto que es el procedimiento que ofrece más garantías desde el punto de vista de la homogeneidad y plasticidad de la masa. La mezcla debe ser batida hasta conseguir una distribución uniforme y una activación apropiada de todos sus componentes, durante un tiempo mínimo de un minuto, siendo lo habitual un tiempo de amasado mecánico entre tres y cinco minutos, contado desde el momento en que se hayan añadido todos los componentes. El tiempo de amasado no debe superar los quince minutos<sup>18</sup>, excepto cuando se usen morteros retardados.

Los morteros preparados y los morteros secos se deben emplear siguiendo las instrucciones del fabricante, que incluirán el tipo de amasadora, el tiempo de amasado y la cantidad de agua.

El mortero de relleno se debe amasar hasta dotar a la mezcla de suficiente docilidad para rellenar los huecos en los que se coloque y se compacte adecuadamente; debe estar listo para su utilización a la salida de la amasadora, no debiendo añadirse posteriormente conglomerantes, áridos, aditivos o agua.

Cuando el amasado se realice a mano, se debe hacer sobre una plataforma impermeable y limpia, realizando como mínimo tres batidas.

Si se trata de realizar un mortero bastardo se debe mezclar primero la cal con el cemento y una parte del agua necesaria; después se incorpora la arena, sin interrumpir el amasado y, finalmente el resto de agua.

Si se utilizan aditivos se debe mezclar en seco la arena con el cemento hasta que el material adquiera un aspecto homogéneo; el aditivo se agrega disuelto en el agua de amasado. No se deben utilizar aditivos, adiciones o pigmentos salvo que lo permita la especificación de proyecto y siempre de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

El mortero se tiene que utilizar en las dos horas posteriores a su amasado. Si es necesario, durante este tiempo se le puede agregar agua para compensar su pérdida. Pasadas las dos horas, hay que desechar el mortero que no se haya empleado.

En invierno se debe tener especial cuidado para proteger el mortero de las heladas. No se debe utilizar agua, arena o premezcla cal / arena que contenga partículas de hielo.

#### 3.4.4 Humedecimiento de los ladrillos

La normativa obliga a mojar los ladrillos antes de su puesta en obra a excepción de los ladrillos de baja succión, denominados así los que tienen una succión inferior a 0,5 kg / (m<sup>2</sup>·min). El objetivo de este proceso, además de eliminar el polvo adherido al exterior de las piezas originado por el proceso productivo, es reducir la expansión potencial por humedad y atenuar la succión. Con ello se evita la deshidratación que sufre el mortero al ponerse en contacto con las piezas cerámicas, fenómeno conocido como *afogado*<sup>19</sup>.

La cantidad de agua embebida en el ladrillo debe ser la suficiente para que no tenga que ser inferida por succión del agua de amasado del mortero, pero sólo la necesaria, sin excedentes que

18. Una amasada prolongada cuando se emplean agentes aireadores, puede conducir a un exceso de aireación y, por consiguiente, a una reducción en la adherencia y durabilidad.

19. Si se utiliza un mortero excesivamente fluido para compensar la succión de agua del ladrillo se corre el riesgo de que escurra por las juntas y se produzcan retracciones de fraguado que provocan fisuras, penalizando la estanquidad del muro.

modifiquen la consistencia del mortero o impidan la entrada del mismo en la estructura porosa de la pieza. El exceso del grado de humedad resultante no deriva necesariamente en una mejora de la interacción mortero / pieza. Si existe agua remanente en la superficie de los ladrillos, aumenta la proporción agua/cemento del mortero en contacto con ellos y se puede inhibir la succión total o parcialmente según el grado de colmatación de los poros superficiales de las piezas colocadas.

El humedecimiento se debe realizar con cierta antelación previamente a su puesta. Se consigue mediante riego o inmersión, introduciendo los ladrillos en una balsa durante unos minutos y apilándolos después de sacarlos hasta que haya desaparecido la película de agua superficial. De esta forma se asegura la absorción a través de las paredes externas de la pieza lo cual facilita su adherencia.

El contenido de humedad no sólo se debe asegurar durante la ejecución de la fábrica; es preciso mantenerlo en el muro recientemente construido si existen condiciones que desequen los materiales. Tal es el caso de humedades relativas bajas, temperaturas altas o fuertes vientos.

#### Crterios específicos para los ladrillos de baja succión

Los ladrillos de baja succión (inferior a 0,5 kg / (m<sup>2</sup>·min)), entre los que se incluyen los hidrofugados, los clínker y los gresificados<sup>20</sup>, constituyen una excepción al criterio general de humedecerlos antes de su puesta en obra, y requieren condiciones específicas en la prescripción del mortero para un correcto comportamiento.

Este tipo de ladrillos tiene una porosidad superficial sustancialmente menor de lo común. Por consiguiente se inhibe el proceso por el cual se forman los enlaces químicos entre el mortero y la pieza que habilitan la adhesión. El ladrillo apenas succiona la lechada y, por tanto, no permite la adherencia mecánica con los morteros convencionales. Para un mismo mortero dado, la adherencia resultante con un ladrillo de baja succión resulta muy inferior a la obtenida con una pieza convencional, de mayor porosidad.

Otro efecto secundario en el caso de baja succión es que la junta se hunde o se estrangula debido a que el mortero permanece fresco mucho tiempo. La demora en el fraguado hace que, al ir añadiendo peso, los tendeles se aplasten y el mortero rebose ensucian-do el paño.

Los ladrillos de baja succión se deben utilizar completamente secos, para lo cual hay que abrir el paquete 48 horas antes de su puesta en obra. Este mismo tiempo se debe dejar transcurrir cuando se corten, hasta su colocación, para que se pueda secar perfectamente la humedad provocada por el corte, además de limpiar la superficie vista.

Si se practican tratamientos de impermeabilización éstos deben afectar sólo a la cara vista, por ejemplo mediante procesos de pulverización del hidrófu-go y no de inmersión.

No se debe utilizar arena sin finos, ni con exceso de gruesos. Además es conveniente prescribir un mortero fabricado específicamente para el caso de ladrillos de baja succión.

#### **3.4.5 Colocación de los ladrillos**

Los ladrillos se deben colocar con el aparejo dado en la especificación de proyecto; cuando no se indique, el aparejo debe ser conforme a la ley de traba indicada en apartados anteriores.

Las piezas con rebajos se deben colocar con la orientación indicada por el fabricante y los rebajos se deben rellenar completamente con mortero.

Antes de proceder a la colocación de los ladrillos, hay que comprobar que la superficie de apoyo está perfectamente limpia y nivelada, de manera que permita el correcto arranque de la fábrica. Las posibles irregularidades que presenta el plano de apoyo se pueden repasar retacando con mortero.

Se sitúa el hilo de la mira coincidiendo con la arista superior de la hilada que se vaya a ejecutar, sirviendo de referencia para garantizar la horizontalidad de la misma.

Con objeto de lograr la máxima homogeneidad en dimensiones y color, se recomienda utilizar ladrillos de dos o tres paquetes a la vez, cogidos en tandas escalonadas.

Los ladrillos se colocan siempre a restregón. Para ello, se extiende sobre el plano de asiento, o la última hilada, una tortada de mortero en la cantidad suficiente para que el tendel y la llaga resulten de las dimensiones especificadas (unos 4 ó 5 cm), y se iguala con la paleta. El ladrillo se sitúa sobre el mortero a una distancia horizontal respecto del ladrillo contiguo de la misma hilada, anteriormente colocado, aproximadamente del doble del espesor de la llaga. Se aprieta verticalmente al ladrillo y se restriega, acercándolo al ladrillo contiguo ya colocado, hasta que el mortero rebose por la llaga y el tendel, quitando con la paleta el exceso de mortero.

Para realizar correctamente la colocación es imprescindible aportar una cantidad de mortero suficiente para que colmate los tendeles y las llagas según los espesores especificados en el proyecto y replanteo; una ejecución deficiente provoca la penetración del agua de lluvia hacia el intradós del muro. Si alguna junta queda insuficientemente rellena hay que repararla con más mortero y presionar con la paleta<sup>21</sup>.

Es contraproducente mover o golpear los ladrillos después de efectuar la operación de restregón y los movimientos iniciales de nivelación y alineación. Una



vez comenzada la interacción entre los materiales, los golpes y movimientos rompen los enlaces químicos y las piezas ya no se vuelven a adherir bien al mortero. Si fuere necesario corregir la posición de algún ladrillo, hay que retirarlo quitando también el mortero.

En el proceso de colocación de los ladrillos es importante evitar el movimiento de vaivén en el sentido perpendicular al muro puesto que, si se redondea la capa de mortero cuando éste aún no ha endurecido, se reduce notablemente la capacidad portante de la fábrica, sobre todo en presencia de cargas excéntricas. Este efecto se aprecia de manera sensible en muros muy esbeltos.

Una vez ejecutada la primera hilada se levanta el hilo situándolo en la siguiente marca, se nivela y se procede a la colocación de la segunda hilada, y así sucesivamente.

El intervalo de tiempo entre la operación de aplicar el mortero y situar las piezas supone un factor que condiciona la adherencia de la hilada que se coloca respecto a la inferior. El agua del mortero dispuesto en el tendel es absorbida por la hilada sobre la que se asienta y se reduce el flujo hacia las piezas superiores cuanto más tiempo transcurra. Lo más aconsejable es reducir los intervalos de puesta de las piezas al mínimo.

Las fábricas se deben levantar por hiladas horizontales en toda la extensión de la obra, siempre que sea posible. Cuando dos partes de la fábrica hayan de levantarse en épocas distintas, hay que dejar escalonada en sentido ascendente la que se ejecute primero, de forma que lo que se realice poste-

riormente monte sobre el escalonado. Cuando esto no es posible, se pueden disponer entrantes (*adarajas*) y salientes (*endejas*).

En cerramientos de dos hojas con cámara intermedia hay que recoger las rebabas del mortero sobrante en cada hilada, para evitar que caigan al fondo de la cámara. Cuando se exija la ventilación y drenaje de la cámara, se deben dejar abiertas en la cima y en la base del muro, y también encima de los huecos, llagas con una separación no superior a 1,50 m.

Las dos caras del muro deben ser perfectamente planas, verticales y paralelas. Para ello se debe controlar periódicamente con plomos y niveles la

20. Existen ladrillos, por ejemplo los vitrificados que pueden llegar a valores de succión inferiores a 0,1 kg / (m<sup>2</sup>-min).

21. La presión de asentado con la que el operario dispone las piezas es uno de los factores que tiene más influencia, tanto en la resistencia a la adhesión final de la fábrica como en la estanquidad. Al presionar la pieza contra el mortero se logra un doble efecto. En primer lugar se fuerza al agua a ascender por los poros de las paredes en contacto con la pasta, incrementándose la tensión de adherencia. Además, aumenta la superficie de contacto de la interfase al impregnarse mayor área de las paredes correspondientes a las perforaciones.



Adarajas y endejas

horizontalidad, el alineamiento y la verticalidad del intradós y del extradós del muro ejecutado de la siguiente manera:

- **Horizontalidad y alineamiento:** se controla colocando una regla sobre la última hilada ejecutada y comprobando con el nivel. También conviene realizar periódicamente una verificación de la horizontalidad con el hilo-guía situado entre las miras. Se sugiere controlar cada cinco o seis ladrillos y ajustar la posición de los mismos aplicando pequeños golpes con el mango de la paleta antes de que se endurezca el mortero.

- **Verticalidad:** se controla mediante el uso de plomadas en las esquinas y en varios puntos del muro; es recomendable colocar plomadas cada 2 metros. Se debe comprobar la verticalidad de todo el muro y también el plomo de las juntas verticales correspondientes a hiladas alternas, que deben seguir la ley de traba empleada según el tipo de aparejo que se haya elegido. Se sugiere controlar la verticalidad en cada hilada con regla y cada cuatro hiladas con la plomada.

### 3.4.6 Corte de las piezas

El corte de piezas es habitual, sobre todo en fábricas de ladrillo cara vista, para poder adaptarse al replanteo o para resolver puntos singulares. Con carácter general, nunca se pueden emplear piezas cortadas a tamaño menor de medio ladrillo.

Los ladrillos se deben cortar sobre una mesa de corte, que debe estar limpia en todo momento y provista de chorro

de agua sobre el disco. Una vez cortada la pieza, se debe limpiar la superficie vista. Además, para evitar manchas en los ladrillos, también hay que limpiar la máquina especialmente cada vez que se cambie de color de ladrillo.

Es recomendable coger los ladrillos que vayan a ser cortados de las mismas partidas que se estén colocando, para evitar cambios de color entre los ladrillos cortados y el resto.

Si se utilizan ladrillos hidrofugados o de baja succión, éstos deben estar completamente secos antes de su puesta en obra, por lo que se deberá dejar transcurrir 48 horas desde el corte hasta su colocación, para que seque completamente la humedad ocasionada en el proceso.

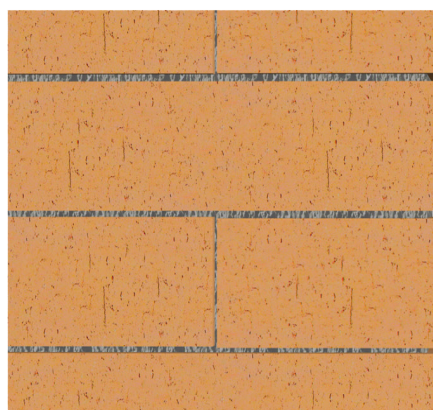
### 3.4.7 Juntas de mortero

Las juntas de mortero suponen alrededor de un 20% del volumen total de un muro. Sin embargo, su efecto en el resultado final en aspectos como la durabilidad o el comportamiento mecánico es mucho mayor. El mortero tiene en-

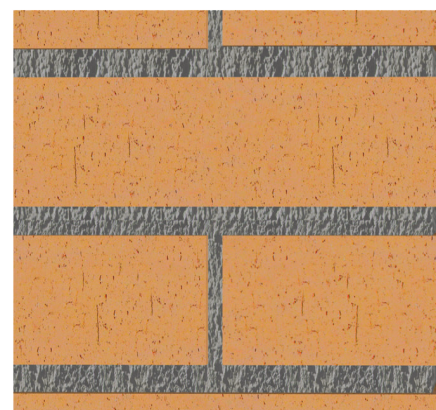
comendadas misiones básicas aparte de ligar las piezas, como son la de proporcionar la resistencia necesaria en las juntas, sellar la fábrica haciéndola estanca al agua pero permeable al vapor, y mantener la modulación y dimensiones dentro de las tolerancias admisibles.

Las juntas se deben ejecutar de tal manera que se asegure su resistencia frente a las acciones a las que estarán expuestas, garantizando el monolitismo de la fábrica; y la adherencia necesaria para evitar la presencia de fisuras garantizando la estanquidad del conjunto.

La superficie crítica en el sistema mortero / pieza suele estar localizada, según la mayoría de los ensayos realizados, en la sección de la junta de mortero con la pieza superior. Por ello, para asegurar el monolitismo resulta crucial la penetración en la mayor medida posible del mortero en las superficies y oquedades de la pieza superior. Con ello se favorece la formación de mayor número de cristales de engarce del mortero en el muro.



Junta delgada



Junta normal





Sin embargo, el aspecto más relevante relativo a la estanquidad que está relacionado con la puesta en obra del mortero radica en la correcta ejecución de las llagas o juntas verticales en todo el espesor del muro. La práctica habitual de colmar la junta sólo por el exterior aumenta las posibilidades de filtración y no asegura la impermeabilidad del paramento.

Las llagas y los tendeles deben tener en toda la longitud y altura del muro el espesor especificado en el proyecto o el determinado en la fase de replanteo, que se debe mantener constante en todo el elemento.

En lo relativo al acabado estético de los muros cara vista es imprescindible mantener una uniformidad en las características del mortero, particularmente en el color. Una dosificación inadecuada, variaciones en la composición, morteros fabricados en distintas etapas, acopios contaminados, etc., alteran sensiblemente el aspecto final del material pudiendo acarrear en las fachadas variaciones estéticas evidentes de carácter irreversible.

El color del mortero depende del color del cemento, de la arena, de la cal y de los pigmentos empleados, así como de las cantidades que se utilicen de los mismos para obtener la mezcla final. Es recomendable utilizar morteros preparados para poder garantizar que, durante el desarrollo de toda la obra, se dispondrá de un mortero de características constantes.

Cuando se quiera utilizar llagas muy delgadas o aparentemente vacías, se deben tener en cuenta las tolerancias dimensionales sobre el valor nominal

y sobre la dispersión del modelo elegido y, si es un ladrillo extrusionado, también sobre el espesor de la cara no vista. Entre cada pieza debe quedar una distancia mínima que permita absorber las tolerancias propias del ladrillo, así como las de colocación.

En las fábricas con juntas a hueso hay que respetar una separación mínima de 2 mm entre las testas de dos piezas contiguas. Desde el punto de vista del comportamiento mecánico, el contacto entre ladrillos es desaconsejable ya que, ante cualquier movimiento de la fábrica, se puede provocar una concentración de esfuerzos excesiva en esos puntos, produciendo deterioros de las piezas.

#### Juntas de mortero: Elección del mortero

La elección del mortero adecuado en cada caso depende de numerosas variables entre las que se deben considerar las relacionadas con la función que ha de desempeñar el elemento. No existe ninguna combinación de componentes que proporcione el mortero óptimo en todas las propiedades que se pueden exigir a este material. Los factores que mejoran una propiedad pueden alterar otras, a veces en sentido desfavorable.

Mientras que en los muros portantes el factor a considerar sería la resistencia mecánica, en los cerramientos de fachada, expuestos al ambiente exterior, con acciones horizontales que producen excentricidades considerables, es más importante valorar la flexibilidad del conjunto, la adherencia del material y la resistencia a las filtraciones. En los cerramientos de ladrillo cara

vista además pueden primar aspectos como la estanquidad, la uniformidad y su acabado o color.

#### Juntas de mortero: Resistencia a compresión

En general, la resistencia mecánica a compresión del mortero tiene poca influencia en la resistencia final de la fábrica ejecutada, aunque es un índice de calidad del material en lo referente a la prevención de procesos de corrosión. Por otra parte, morteros de elevada resistencia, cuando se utilizan con piezas poco resistentes, pueden producir roturas frágiles en muros.

Por estas razones, el DB SE-F establece las siguientes restricciones, por exceso y por defecto, a la resistencia de los morteros utilizados para la ejecución de fábricas:

*“El mortero ordinario para fábricas convencionales no será inferior a M1. El mortero ordinario para fábrica armada o pretensada, los morteros de junta delgada y los morteros ligeros, no serán inferiores a M4. En cualquier caso, para evitar roturas frágiles en los muros, la resistencia a la compresión del mortero no debe ser superior al 0,75 de la resistencia normalizada de las piezas”.* (DB SE-F, artículo 4.2 “Morteros”, párrafo 3).

En fábricas de ladrillo cara vista se recomienda el empleo de morteros no superiores en ningún caso a M7,5. Aunque la resistencia mecánica del mortero no constituye un parámetro fundamental, no es una práctica aconsejable intentar alcanzar la resistencia prescrita mediante una mezcla de sus componentes en obra; es preferible recurrir a morteros industriales, solicitados en

función de una resistencia nominal, cuyos controles de calidad previos y sus registros pueden avalar con mayor rigor el valor del resto de sus propiedades.

#### Juntas de mortero: Contenido en cemento

El aumento de la cantidad de cemento supone, en general, un incremento de la resistencia del mortero. No obstante, dosificar un mortero con exceso de cemento puede comprometer otras propiedades del material y su interacción en el conjunto de la fábrica.

El cemento aporta una rápida ganancia de resistencia, lo cual es favorable si se construye el elemento en época de heladas, pero su exceso produce mezclas más rígidas, lo que puede provocar fisuración en la fábrica debida a movimientos de ésta por pequeños que sean.

En cualquier caso, nunca son aconsejables morteros pobres en cemento; es preferible añadir cal hidratada o aditivos que habiliten una mayor flexibilidad del material.

#### Juntas de mortero: Relación agua/cemento

En general, el aumento de la relación agua / cemento, bien sea por la adición de agua o por la disminución de la cantidad de cemento, se traduce en un descenso de la resistencia mecánica del mortero.

Sin embargo, a la hora de cuantificar esta relación es importante considerar el conjunto constructivo formado por las piezas y el mortero, en cuya interacción es clave el componente agua.

Si el contenido de agua es insuficiente se puede impedir el proceso adecuado de hidratación del conglomerante. Además se dificulta la penetración de éste en los poros de las piezas para formar los vínculos mecánicos adecuados. Por ello, un mortero puede adquirir mayor resistencia individualmente con un menor aporte de agua, pero no por ello se aumenta necesariamente la resistencia final del conjunto.

#### Juntas de mortero: Consistencia

Con carácter general, para la ejecución de fábricas es recomendable utilizar morteros de consistencia plástica. Los morteros de consistencia seca resultan poco trabajables y es difícil garantizar el trasvase del conglomerante hacia los poros de las piezas. Los morteros de consistencia fluida pueden ocasionar el fenómeno de segregación, por el cual la pasta se derrama hacia abajo dificultando la adherencia con la pieza superior, produciendo además niveles demasiado elevados de porosidad del mortero.

#### Juntas de mortero: Morteros mixtos

Los morteros que utilizan como conglomerante la cal son menos resistentes que los formados con cemento y muchos más lentos en el proceso de endurecimiento. Sin embargo, la aportación de cal hidratada para formar morteros mixtos es beneficiosa puesto que mejora otras propiedades como la trabajabilidad o la permeabilidad al vapor de agua.

En general, es aconsejable el empleo de la cal como plastificante especialmente cuando la relación en volumen cemento / arena es igual o mayor a 1:4.

Cuando se aporta cal hidratada para obtener un mortero mixto es importante cerciorarse de que ésta ha sido debidamente apagada, para evitar la presencia de gránulos de cal viva que originan expansiones debilitando al material. Los morteros industriales que incorporan la cal en sus componentes tienen en consideración este aspecto en los correspondientes controles de calidad.

#### Juntas de mortero: Tiempo de utilización

Las mejores condiciones para la aplicación del mortero se consiguen disponiendo la pasta recién preparada, evitando que transcurra mucho tiempo desde que es amasada hasta su puesta en obra. La razón es evitar la pérdida de agua debido a la evaporación por la aireación superficial y a la absorción de la arena. Esta pérdida se traduce en una alteración de la consistencia del mortero perjudicando su trabajabilidad y puede llegar a inhibir la hidratación del conglomerante.

Por esta razón, la aplicación del mortero para formar las juntas se debe realizar dentro del tiempo de utilización que éste tenga especificado. Durante este período queda garantizado que el mortero conserva todas sus propiedades en estado fresco. Lo ideal es disponer la cantidad de mortero que se va a consumir para ejecutar las unidades de obra previstas en un tiempo razonable, evitando excedentes que pierdan sus condiciones iniciales. No es conveniente reacondicionar el mortero para hacerlo más trabajable añadiendo agua una vez que se ha superado su tiempo de utilización, pues se pueden modificar sus propiedades iniciales (consistencia, densidad, adherencia en estado fresco, etc.) y otros paráme-



tros, como la relación agua / cemento, que merman el poder ligante en la interfase mortero / pieza afectando fundamentalmente a su durabilidad y a la respuesta de la fábrica ante solicitaciones relacionadas con la adhesión.

Cuando se prevean períodos prolongados de puesta en obra del mortero es preferible utilizar aditivos retardadores de fraguado que dilatan el tiempo de su utilización. El empleo de retardadores puede prolongar su tiempo de uso en fresco hasta 48 horas o incluso más<sup>22</sup>.

#### Juntas de mortero: *Durabilidad*

Uno de los factores fundamentales que influye decisivamente en la durabilidad de una obra de fábrica es la resistencia que presentan sus materiales a los ciclos hielo - deshielo.

En general, la resistencia a la helada aumenta con el contenido de cemento debido a que el mortero, cuando está en el exterior, debe resistir el hielo incluso antes de finalizar el período de endurecimiento y en este sentido es importante que presente altas resistencias iniciales, aunque esto tiene como contrapartida una elevada retracción de secado.

El contenido de aire también es un parámetro directamente relacionado con la resistencia a la helada. El aumento del porcentaje de aire ocluido en el seno de la masa, mediante la utilización de aditivos aireantes en la composición de la mezcla, mejora ostensiblemente el comportamiento ante los ciclos de hielo - deshielo a que están expuestas las juntas, debido a que las pequeñas burbujas de

aire en el interior del mortero proporcionan una buena protección del material ante este agente. Sin embargo, un contenido de aire elevado en el mortero perjudica otras propiedades como la resistencia, la adherencia y la impermeabilidad.

Otro agente que perjudica la durabilidad de las fábricas es la presencia de los iones sulfato procedentes de sales solubles en agua o derivados de reacciones en determinadas atmósferas industriales, que produce un compuesto de naturaleza expansiva llamado *ettringita*. Es aconsejable prescribir cementos resistentes a los sulfatos, de bajo contenido en aluminato cálcico, cuando las condiciones del medio son propicias a la generación de sulfatos solubles.

Los iones cloruro de los morteros perjudican la durabilidad de las fábricas que incluyen en su interior armaduras no protegidas. En fábrica armada es conveniente prescribir un mortero con un contenido máximo de 0,1% de estos iones en la masa del cemento seco utilizado. Dada la dificultad de medir este contenido en el mortero endurecido, se determina en los morteros frescos. En morteros que no alberguen acero en su interior no es necesario considerar este parámetro.

#### Juntas de mortero: *ladrillos de baja succión*

En el caso de utilizar ladrillos de baja succión, el mortero empleado para las juntas debe ser menos fluido, debiéndose reducir la cantidad de agua en el amasado, ya que la pieza cerámica apenas altera el contenido de agua que presenta el mortero en estado

22. Si se utilizan aditivos retardadores hay que tener la precaución de que el mortero no permanezca expuesto a condiciones ambientales severas puesto que, durante el período que transcurre antes de iniciarse los procesos de fraguado y endurecimiento, se puede producir la evaporación del agua de amasado y derivar en un mortero fácilmente disgregable en su fase endurecida.

23. La relación agua / cemento debe ser la justa para una correcta hidratación, sin superar el 50%, teniendo en cuenta la influencia que la humedad de la arena tiene en la dosificación final.

fresco. El exceso de agua en la mezcla reduce la resistencia, retrasa el fraguado y puede ensuciar la fachada al no ser absorbida por la junta. En este sentido es aconsejable prescribir morteros con una relación agua / cemento baja<sup>23</sup>, que produzca una consistencia plástica.

Para reducir la cantidad de agua de la mezcla sin penalizar la trabajabilidad del mortero es recomendable la adición de cal hidratada o utilizar aditivos plastificantes, que le permite ser más cohesivo en estado fresco.

Si se utiliza ladrillo clínker no es necesario utilizar aditivos hidrofugantes en el mortero. Con carácter general y especialmente en este caso no se

debe añadir agua a la mezcla para su reamasado.

El mortero debe tener una categoría alta, debido a que la resistencia de la pieza es muy elevada. Es aconsejable dotar al mortero de un alto contenido en finos.

#### Juntas de mortero: ladrillos alta succión

Los ladrillos de alta succión representan el caso inverso al anterior. Si el ladrillo tiene una elevada capacidad de succionar el agua con la que entra en contacto en su superficie, puede resecar la pasta perjudicando sensiblemente la adherencia.

En estas situaciones se debe cuidar que la dosificación del mortero tenga suficiente contenido en agua. También se pueden utilizar retenedores de agua (tipo metil-celulosas de viscosidad intermedia) o morteros mixtos de cal hidratada que reducen la pérdida del líquido en el seno de la pasta y aseguran la adherencia.



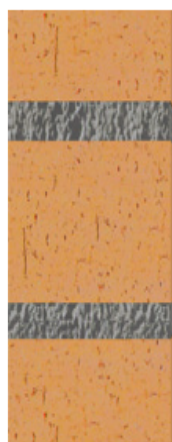
Junta redondeada



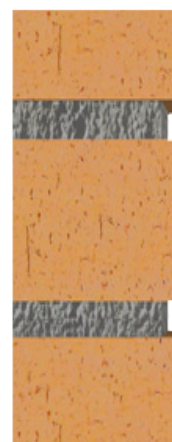
Junta matada superior



Junta oculta



Junta enrasada



Junta rehundida

#### Juntas de mortero: Acabados de junta

El acabado de junta influye de forma importante en el aspecto final de la fábrica, ya que las juntas suponen aproximadamente el 20% de la superficie del paramento.

Cuando se definen los acabados de junta se deben incluir en la especificación, además de la propia forma, cualquier exigencia especial para comprimir la junta con el llaguero y la necesidad, si procede, del rejuntado para conseguir un efecto o color determinados. Además, se debe tener en cuenta en el proyecto el efecto de juntas rehundidas e hiladas voladas.

La junta puede tener diferentes formas dependiendo del aspecto estético que se quiera obtener. Los tipos de junta más utilizados son: redondeada, rehundida, matada superior, enrasada y oculta o a hueso. En cualquier caso su diseño debe evitar la acumulación de agua, facilitando su evacuación. En este sentido, no son recomendables las juntas salientes.

#### Juntas de mortero: Llagueado

La forma y el aspecto definitivo de la junta se obtiene mediante la operación de *llagueado*. Se realiza cuando se está ejecutando la fábrica y antes de que haya fraguado el mortero, repasando las juntas con el llaguero o con la paleta, mejorando de esta forma el comportamiento de las mismas y el aspecto estético de la fábrica. Al repasar la junta hay que tener la precaución de no arrastrar el mortero. No es conveniente esperar demasiado tiempo en retirar el mortero sobrante, pues si endurece el proceso es más laborioso.

Con objeto de conseguir la máxima uniformidad en el tono de las juntas, conviene realizar el llagueado transcurrido siempre el mismo tiempo desde la ejecución, realizando primero las verticales para obtener las horizontales más limpias. El mortero se debe compactar con las herramientas apropiadas antes de que pierda su plasticidad.

Salvo especificación contraria, cuando se empleen ladrillos perforados, las juntas de mortero no se deben rehundir más de 1/3 del espesor de la pared perimetral de la pieza, ni más de 5 mm en muros de espesor igual o menor a 200 mm.

#### Juntas de mortero: Rejuntado

El *rejuntado* es una operación que se realiza con posterioridad al proceso de fraguado del mortero, y consiste en repasar las juntas incorporando mortero.

Antes de iniciar la operación de rejuntado se deben rasar las juntas a una profundidad entre 10 mm y 15 mm medida desde la superficie acabada, y se debe limpiar y humedecer todo el área para dar la mejor adherencia posible al mortero incorporado. El mortero se debe compactar para asegurar también una buena durabilidad.

El mortero para rejuntado debe tener características de deformación compatibles con las características de deformación del mortero del llagueado.

#### Juntas de mortero: Curado

El *curado* es el proceso que consiste en suministrar las condiciones de maduración adecuadas para que el mortero expuesto a las condiciones ambientales alcance sus propiedades durante el período de endurecimiento.

Se ha comprobado que el curado en húmedo produce mayor resistencia final en la fábrica que el mismo proceso en seco a la intemperie. El aporte de humedad en edades tempranas impide que las altas temperaturas o la exposición a vientos intensos desequen el mortero garantizando la existencia de suficiente agua en su interior para consolidar las reacciones químicas del fraguado.

### 3.4.8 Rozas y rebajes

Las rozas o rebajes suponen un debilitamiento de la sección de muro que pueden poner en peligro su estabilidad y, en cualquier caso, reducen la capacidad resistente de la zona afectada en mayor o menor grado, según la inclinación que tome y el tiempo transcurrido desde la ejecución del muro hasta la realización de la roza.

Según el DB SE-F, se pueden disponer rozas o rebajes verticales, sin necesidad de tener en cuenta su efecto en el cálculo, siempre que se respeten determinadas limitaciones relativas a su anchura y profundidad.

En fábricas con piezas macizas o perforadas, las rozas que respeten las limitaciones de la tabla 3.6 no reducen el grueso de cálculo del muro, a efectos de la evaluación de su capacidad resistente.

Si no se cumplen las limitaciones de la tabla 3.6, las rozas o rebajes deben ser considerados en el análisis, teniendo

en cuenta el efecto producido por el debilitamiento en la sección del muro. No obstante, en cualquier caso se deben observar las precauciones de carácter general que se indican a continuación, con objeto de no comprometer la estabilidad de la fábrica.

Teniendo en cuenta la dureza del material, se recomienda realizar las rozas con herramientas de precisión.

Siempre que sea posible se debe evitar hacer rozas en los muros inmediatamente después de haber sido ejecutados, teniendo especial cuidado con los muros no estructurales para evitar que la fuerza aplicada por la máquina rozadora dañe al muro. Cuando existe este riesgo, se debe reforzar el muro.

No se pueden realizar rozas o rebajes que atraviesen dinteles u otros elementos estructurales construidos en el muro. En caso de tener que realizar rozas en muros armados o con anclajes, se debe tener especial precaución en no dañar estos elementos. Cuando se prevea que un muro de fábrica armada

en los tendeles tiene que rozarse por una o dos de sus caras, se aconseja emplear armaduras de tendel del ancho inmediatamente inferior al máximo recomendado en función del muro, para evitar encontrarse con las armaduras al hacer las rozas.

Se deben evitar las rozas horizontales e inclinadas de pendiente inferior a 70°. Cuando no sea posible, se deben realizar dentro del octavo de la altura libre del muro, sobre o bajo el forjado, preferentemente en las tres últimas hiladas.

Se debe procurar que las rozas verticales queden separadas 20 cm como mínimo de los cercos o precercos de los huecos.

Cuando haya que realizar rozas por las dos caras de un muro, deben quedar separadas como mínimo 50 cm, para evitar un debilitamiento excesivo de la sección que comprometa su estabilidad.

Tabla 3.6 Dimensiones de rozas y rebajes admisibles sin cálculo

Espesor del muro (mm)	Ancho de rozas verticales (mm)	Profundidad de rozas horizontales o inclinadas (mm)	
		Longitud > 1250 mm	Longitud < 1250 mm
≤ 115	100	0	0
116 - 175	125	0	15
176 - 225	150	10	20
226 - 300	175	15	25
> 300	200	20	30

\*Fuente: DB SE-F, tabla 4.8



### 3.4.9 Criterios de ejecución específicos para fábrica armada

Los criterios que se indican a continuación, con carácter general, tienen como objetivo prevenir en lo posible el riesgo de corrosión de las armaduras embutidas en la masa del muro.

El mortero a emplear en fábricas armadas debe ser un mortero de categoría M5 como mínimo, cuidando de forma especial que las piezas no absorban el agua de hidratación necesaria para el correcto fraguado del mismo, dado que la adherencia resulta esencial para obtener las prestaciones requeridas del armado.

El cemento utilizado en la fabricación del mortero debe tener limitado el contenido en iones cloruro al 0,1% para prevenir el ataque químico de las armaduras.

Existe un factor sumamente importante, por su incidencia en la durabilidad de la fábrica armada, cuando está constituida por piezas de material cerámico, que es el de la succión de los ladrillos. Debido al alto riesgo de corrosión del acero, incluso con tratamientos de protección, si el ladrillo absorbe con facilidad la humedad, se pueden producir situaciones de humedades diferenciales, que tienen mucha incidencia en los procesos de ataque por corrosión.

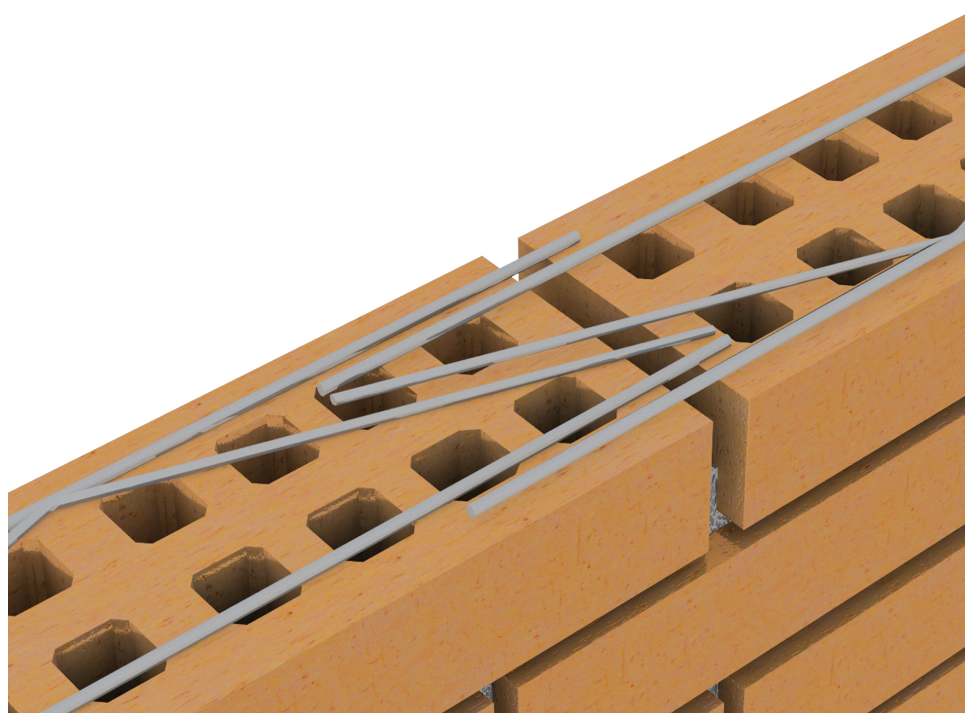
El fenómeno descrito anteriormente se agrava por el hecho de que las armaduras de tendel suelen tener diámetros pequeños, con mucha superficie expuesta para la cuantía de acero considerado. Las consecuencias de un proceso de ataque por corrosión

de las armaduras embutidas en las fábricas son difíciles de paliar, dada la imposibilidad de inspección posterior y de abordar tareas de mantenimiento. Por tanto, se debe establecer en el pliego de condiciones técnicas, las condiciones pertinentes de aceptación o rechazo del ladrillo, en función de su coeficiente de succión.

De igual forma, hay que controlar que el espesor del llagueado se mantenga constante y que la disposición de la armadura sobre la tabla de las piezas sea la correcta para que se garantice el recubrimiento total de los alambres, tanto por los efectos que ello supone respecto a la adherencia, como respecto a la propia protección del acero.

Por las razones indicadas anteriormente, se deben controlar de forma especial los puntos singulares en los que la fábrica cambia de plano, en esquinas, quiebros o mochetas, donde los empalmes se deben hacer solapando varillas dispuestas en un mismo plano, nunca superponiéndolas. Si para garantizar el recubrimiento y grueso de tendel fuere necesario, se pueden emplear separadores adecuados para ello.

En relación con el diámetro de las barras, para la mayoría de las aplicaciones de la fábrica armada, como las destinadas a evitar fisuración o colaborar en la estabilidad con ayuda de anclajes, son suficientes diámetros comprendidos entre 3 mm y 5 mm, salvo que la armadura sea requerida para otras funciones estructurales específicas.



### 3.4.10 Criterios de ejecución de las juntas de movimiento

Las juntas de movimiento constituyen un punto delicado en la construcción de fábricas por ser susceptibles a la penetración de humedad. Además pueden presentar al exterior una apariencia antiestética si no se cuida debidamente su ejecución.

Se presenta a continuación los criterios de carácter general para la ejecución de juntas de movimiento, remitiendo al lector a la sección de *Requisitos* y posteriores, donde se suministran las recomendaciones y reglas de carácter particular.

El ancho de una junta de movimiento no debe ser menor que el especificado. Las tolerancias de la anchura especificada se deben mantener en un margen comprendido entre 0 mm y +2 mm, salvo indicación contraria en el proyecto.

Los componentes auxiliares de la fábrica, incluyendo albardillas y vierteaguas, no deben puentear las juntas de movimiento, exceptuando las llaves de atado.

Los materiales que se empleen para realizar la junta deben mantener la estanquidad del muro, pese a los movimientos de alargamiento y acortamiento, rellenando siempre por completo la junta. Habitualmente se emplea poliestireno para rellenar la junta y silicona para sellarla.

El material de trasdós y el cordón de separación, cuando se requiera, se deben colocar dentro de la junta de tal manera que la distancia desde su cara a la de la junta permita emplear la profundidad correcta del sellante.

Las caras de la junta a las que se aplica el sellante deben estar limpias y libres de materias sueltas. Deben estar también secas, salvo indicación contraria.

Se debe aplicar el sellante a la totalidad de la profundidad especificada, evitando burbujas, y debe quedar adherido a cada lado de la junta.

### 3.4.11 Criterios de ejecución de los chapados con plaquetas

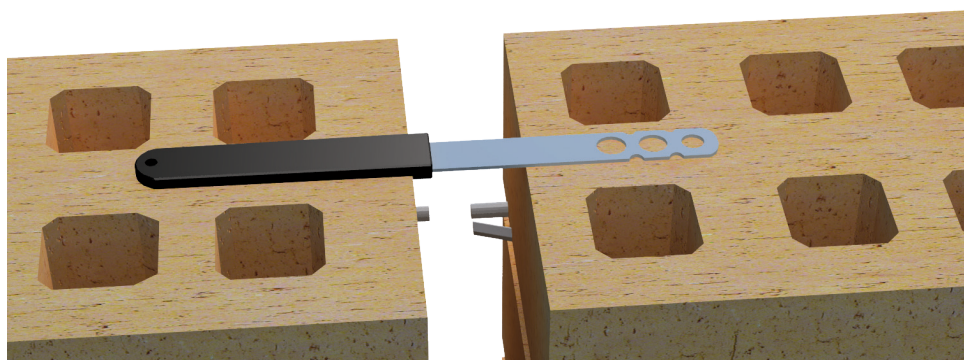
Una situación habitual, cuando los elementos estructurales del edificio se interfieren con los elementos de la fábrica, es la necesidad del *chapado*<sup>24</sup>. Esta situación constituye un punto delicado, puesto que si no se adoptan las medidas constructivas adecuadas puede ser origen de los siguientes riesgos de procesos patológicos.

En primer lugar, la solidarización de las “galletas” o “plaquetas” a la estructura mediante mortero resulta muy susceptible a la fisuración (en casos graves puede llevar incluso a la caída de piezas) por los movimientos diferenciales de origen higrotérmico entre ambos y por los propios movimientos estructurales del soporte. El problema se agrava si para la ejecución del chapado se utilizan las vulgarmente llamadas “pistolas”.

Además, esta fisuración puede generar humedades al ser un punto susceptible a la entrada de agua. También existe riesgo de aparición de humedades por la propia filtración por capilaridad a través del chapado.

La imposibilidad de dar continuidad al aislamiento térmico del cerramiento genera un puente térmico que propicia la aparición de humedades de condensación.

En el caso del paso de la fábrica por delante de los soportes se puede evitar fácilmente esta situación con una disposición retranqueada de los mismos respecto del borde exterior del cerramiento<sup>25</sup>.





Por el contrario, esta situación es difícil de evitar en el encuentro de la fábrica con el forjado, si se utiliza el sistema tradicional de construcción del cerramiento. Es una práctica habitual intentar que la apariencia exterior presente una superficie continua del paño, por lo que la fábrica se entrega parcialmente en los forjados, revistiendo el frente de los mismos con las “plaquetas” de chapado.

Para evitar los riesgos indicados es conveniente desolidarizar la fábrica de los elementos estructurales por medio de láminas, y hacer solidario el chapado al resto de la fábrica por medio de armaduras de tendel. La estabilidad de las plaquetas se asegura por medio de anclajes con libertad de movimiento vertical para evitar el riesgo de traspase de carga y la fisuración por incompatibilidad de movimientos.

La interposición de láminas de desolidarización tiene la ventaja de independizar totalmente la fábrica con respecto a la estructura, permitiendo el movimiento diferencial entre ambas y mitigando el efecto de los movimientos propios del trabajo estructural, tanto de los soportes, como de los forjados. Además, si se utiliza para ello una barrera impermeable y aislante, se consigue la estanquidad y rotura del puente térmico en el encuentro de la fábrica con la estructura.

La utilización de armadura de tendel en el encuentro de las plaquetas con el resto del muro tiene la ventaja de proporcionar un control adicional de fisuración y de conseguir que el chapado quede solidario con la fábrica, evitando la posibilidad de caída de las piezas.

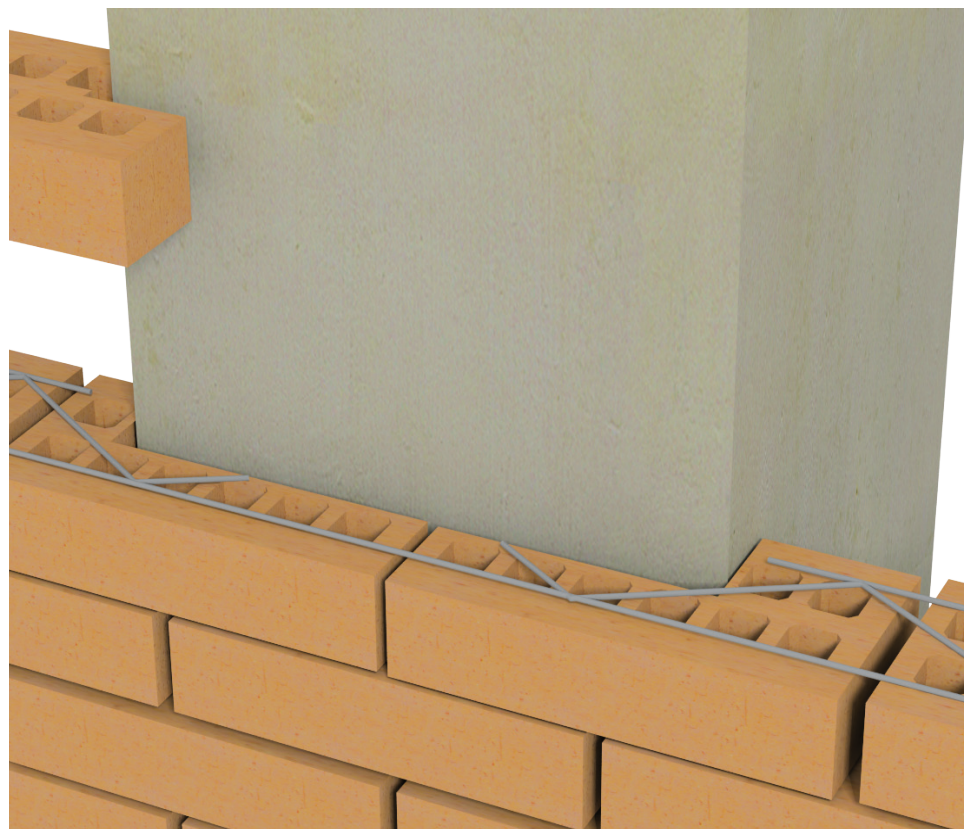
### 3.4.12 Protección de la fábrica durante su ejecución

La fase de ejecución de las fábricas constituye el período más delicado de toda su vida útil. Mientras se están construyendo y, generalmente, hasta que haya concluido el proceso de fraguado, las fábricas son elementos con propiedades físicas y mecánicas totalmente diferentes a las que tendrán en la fase de servicio.

Sus componentes, sobre todo el mortero, son muy sensibles a los agentes climáticos, fundamentalmente al agua de lluvia, al excesivo calor, al viento y a las heladas. Las constantes mecánicas,

24. Se entiende por *chapado* la colocación de piezas de menor espesor (“galletas” o “plaquetas”) para permitir el paso de la fábrica por los elementos estructurales cuando no es posible el paso del muro con su espesor completo por delante de los mismos.

25. Esta disposición retranqueada de los soportes, no sólo respecto de la línea de fachada, sino también respecto de la tabica del forjado es muy beneficiosa, incluso desde el punto de vista estructural, pues permite un correcto anclaje de las armaduras de negativos de las vigas por detrás de la ferralla. Tiene el inconveniente, sin embargo, de que los soportes consumen una mayor superficie útil, originando “mochetas” más pronunciadas en el interior del edificio.



tales como la resistencia y módulo de elasticidad, son distintos a los valores asignados en el análisis, y las condiciones de sustentación suelen ser inferiores a las previstas.

Por ello, mientras se ejecutan las fábricas pueden estar sometidas a situaciones transitorias, en las que el efecto de las acciones es notablemente superior al considerado en el proyecto.

### Protección de la fábrica contra los agentes climáticos

El agua de lluvia que cae sobre una fábrica recién ejecutada puede arrastrar los finos del mortero reduciendo considerablemente sus características físicas, puede disolver determinadas sales provocando la aparición de manchas y eflorescencias, y puede erosionar las juntas con el consiguiente deterioro del aspecto estético.

Las bajas temperaturas perjudican al mortero no sólo en la fase de su preparación, sino también durante la ejecución de la fábrica. El mortero de las juntas es muy sensible a las heladas debido a su alto contenido en agua y al reducido espesor de la junta. Si el mortero se hiela antes de fraguar se ven considerablemente reducidas su adherencia, resistencia y durabilidad.

El tiempo extremadamente seco y caluroso produce una rápida evaporación del agua del mortero que altera su proceso normal de fraguado y endurecimiento y puede provocar fisuras por retracción.

Las medidas de protección de la fábrica contra los agentes atmosféricos durante su ejecución y hasta que finalice el proceso de fraguado del mortero

consisten, generalmente, en cubrir las partes ejecutadas y suspender los trabajos cuando las condiciones climáticas son extremas.

La protección contra el agua de lluvia se consigue fácilmente cubriendo la fábrica con plásticos, sobre todo en la parte superior.

En época de lluvia también es importante tomar precauciones para que no se vierta sobre la fábrica el agua acumulada en los forjados, terrazas y cubiertas. Las medidas a tomar en este sentido son las encaminadas a canalizar el agua convenientemente hacia el exterior. Para ello, es conveniente colocar lo antes posible elementos de protección, tales como alféizares, albardillas, umbrales, canalones y bajantes de pluviales provisionales. Esto se puede hacer inmediatamente después de finalizar el tendido y rejuntado de la fábrica.

En tiempo extremadamente seco y caluroso es fundamental mantener húmeda la fábrica. No se debe utilizar para ello el chorro a presión, ya que el agua podría arrastrar el mortero, quedando la junta muy debilitada. También se puede prevenir la excesiva evaporación de la humedad cubriendo la fábrica con un material resistente al vapor, por ejemplo con polietileno.

Durante los períodos de helada se deben evitar las operaciones de ejecución y rejuntado. Si hiela al comenzar la jornada o durante ésta, se deben interrumpir los trabajos y proteger con mantas de aislante térmico y plástico la fábrica recién ejecutada. Conviene inspeccionar las fábricas al comenzar la jornada y demoler las zonas afectadas de la jornada anterior.

Se pueden utilizar aditivos anticongelantes para el mortero, siempre que no tengan ningún efecto nocivo sobre la fábrica y siguiendo atentamente las indicaciones del fabricante en cuanto a dosificación y condiciones de ejecución.

### Protección de la fábrica contra los agentes mecánicos

Los agentes mecánicos proceden de las operaciones propias del proceso constructivo de la obra o de las acciones exteriores sobre el elemento que tiene mermadas, durante su ejecución, las condiciones de sustentación o las propiedades resistentes.

Las agresiones mecánicas del primer tipo se deben habitualmente a las operaciones necesarias para otros trabajos en desarrollo, a las actividades de tráfico en la obra, a los procedimientos de vertido del hormigón y al uso del andamiaje. Las medidas de prevención contra los daños mecánicos producidos por estas causas consisten en proteger con guardavivos provisionales las partes más vulnerables como son las aristas en las esquinas y huecos, los zócalos y otros elementos salientes.

La protección contra acciones horizontales en la fase de ejecución de la fábrica es la operación más delicada, puesto que este tipo de acciones y las condiciones precarias de sustentación intervienen decisivamente en la estabilidad del elemento. Como medida de carácter general es aconsejable que los elementos de fábrica que vayan a ir trabados se levanten simultáneamente. En los casos en los que esto no sea posible, la fábrica debe permanecer arriostrada durante su construcción a elementos suficientemente estables,



tales como la propia estructura o los andamios, para evitar el vuelco. También se puede resolver el apeo provisional de los muros que durante su construcción queden temporalmente sin arriostrar con tabloneros cuyos extremos estén bien asegurados.

Si en la zona se prevén fuertes vientos puede ser necesario tener en cuenta esta contingencia en el dimensionado. Para ello, se debe calcular el muro teniendo en cuenta las acciones horizontales de presión y succión debidas al viento, en ambos sentidos perpendiculares al muro, y a la combinación de ambas.

Las acciones de carácter gravitatorio tienen menos trascendencia en los muros de cerramiento, aunque también se debe prever la situación transitoria que supone la fase de ejecución, sobre todo si se utilizan sistemas de *fachada autoportante*. La medida de prevención en este sentido consiste fundamentalmente en construir la fábrica avanzando en longitud, y no en altura.

La altura de la fábrica ejecutada en una jornada se debe limitar para evitar el aplastamiento del mortero fresco. Si el mortero colocado recientemente no ha adquirido aún la resistencia suficiente para soportar el peso, se puede producir el aplastamiento de los tendeles.

El ritmo de ejecución depende del espesor del muro, del tipo de mortero, de la forma y densidad de las piezas y del grado de exposición al viento. En cualquier caso, la altura máxima de una jornada no debe exceder una planta ni 3 metros. Esta precaución es especialmente importante si se utilizan morteros con retardador de fraguado.

### 3.4.13 Limpieza de la fábrica ejecutada

Las precauciones que tienen como objeto mantener la fábrica limpia a lo largo de su construcción repercuten significativamente en el coste del acabado final. Las manchas más frecuentes se deben a salpicaduras de mortero; para evitarlas es suficiente proteger las superficies mediante plásticos mientras se esté realizando algún trabajo que las pueda afectar como, por ejemplo, la aplicación de morteros proyectados, pinturas, pulido de terrazas, vertido de escombros, etc.

La limpieza se facilita notablemente si se realiza tan pronto como sea posible después de la aparición de las manchas y, preferiblemente, mediante cepillado antes de que los materiales que contienen cemento se endurezcan. No es aconsejable eliminar las manchas de mortero con estropajos o esponjas húmedas.

En cualquier caso, al final de la obra y cuando la fábrica esté totalmente seca, se deben realizar las labores de limpieza general, protegiendo antes todos los elementos de la fábrica que puedan sufrir algún deterioro y comenzando por la parte superior del elemento, con objeto de evitar el ensuciamiento de las zonas tratadas.

La limpieza de la fábrica terminada se puede llevar a cabo con un ácido comercial (clorhídrico o nítrico) disuelto en diez partes de agua, o con un producto limpiador específico para el tipo de pieza utilizada. Es conveniente realizar previamente algunas pruebas para conocer la efectividad y la reacción del ácido o del producto limpiador sobre las piezas.

La operación propia de limpieza se realiza practicando un cepillado enérgico sobre la zona a limpiar, previamente humedecida con agua, y un aclarado con la cantidad de agua necesaria y suficiente para arrastrar las sales disueltas. Las operaciones de cepillado y aclarado se deben realizar simultáneamente y sin demora entre ambas, con el fin de evitar que el ácido continúe actuando sobre la fábrica. En particular, si se emplea ácido nítrico para la limpieza, se debe tener en cuenta que puede llegar a oxidar algunos tipos de ladrillos cambiando su color. Es aconsejable que esta labor se confíe a especialistas.

Si se trata de limpiar eflorescencias es aconsejable intentar eliminarlas en seco mediante cepillado, ya que en muchos casos esta operación es suficiente para que desaparezcan.

Cuando se emplee el chorro de agua a presión, se debe realizar una prueba para comprobar que no se daña la junta de mortero.

### 3.5 Criterios de control

En general, el control de calidad en la construcción se centra en dos aspectos fundamentales: el control de recepción de los materiales y el control de ejecución.

Lo habitual es que la calidad de los materiales venga determinada por una serie de características que deben ser sometidas a control, mediante ensayos durante su fabricación. Los ensayos son operaciones técnicas que consisten en determinar si una o varias características de un producto, proceso o servicio están de acuerdo con un requisito determinado; se pueden llevar a cabo tanto en laboratorio como a pie de obra, dependiendo del elemento a comprobar. Si el objeto del ensayo está de acuerdo con la normativa se puede formalizar la garantía de calidad mediante alguno de los siguientes procedimientos:

- **Normalización:** procedimiento llevado a cabo, generalmente por la administración, con el fin de establecer soluciones para situaciones que se repiten.
- **Homologación:** procedimiento que supone la aprobación oficial de un producto o proceso y que tiene carácter obligatorio.
- **Certificación:** procedimiento de carácter voluntario que se solicita a un organismo reconocido para que emita una serie de documentos demostrando el que objeto al que se refiere se ajusta a las normas técnicas. El resultado de la certificación se materializa en la emisión de *Marcas o Sellos de Calidad*<sup>26</sup>.

El control de ejecución se realiza durante la construcción del edificio, con el objetivo de conseguir la calidad prevista en cada una de las partidas, así como la calidad global del producto. Se puede realizar a través de tres vías diferentes:

- Control de calidad realizado por los técnicos directores de obra.
- Control de calidad llevado a cabo según el programa descrito en el proyecto de ejecución.
- Control de calidad realizado por la constructora a través de sus propios protocolos.

Los documentos de referencia, en los que se establecen los criterios y niveles de control de calidad correspondientes a los elementos de fábrica son el DB SE-F, Capítulo 8 “Control de la Ejecución” y el Eurocódigo 6, partes 1-1 y 2.

#### 3.5.1 Control de recepción de materiales

Según la Ley de Ordenación de la Edificación, el director de la ejecución material es el responsable último de la calidad de los materiales que llegan y son utilizados en obra; por lo tanto es este agente, o la persona debidamente acreditada en quien delegue, el responsable de aplicar un control de calidad adecuado, que asegure la buena construcción.

Independientemente de lo que se indica a continuación, es aconsejable que todos los materiales utilizados en la obra garanticen su calidad, mediante sellos o marcas de conformidad con las normas exigidas para cada uno de ellos.

#### Control de recepción de los ladrillos

Los procedimientos de control de calidad de los ladrillos se regulan por las siguientes normas:

- UNE 67021:1978 “Cerámica. Control de calidad de fabricación de elementos cerámicos de tierra cocida para la construcción”.
- UNE 67022:1978 “Cerámica. Toma de muestras para el control estadístico en recepción de la calidad de productos cerámicos utilizados en la construcción”.
- UNE 67023:1978 “Cerámica. Toma de muestras para el control estadístico en fábrica de la calidad de productos cerámicos utilizados en la construcción”.

El control de recepción de las piezas cerámicas constitutivas de la obra de fábrica, en general, consta de dos etapas:

- *Control previo*

Implica la aceptación provisional de la *partida*<sup>27</sup>, debiéndose comprobar el cumplimiento de lo especificado en cuanto a identificación de productos, características de aspecto y peso medio y/o densidad aparente media de las piezas.

El suministrador de ladrillos debe facilitar, si así lo requiere la dirección facultativa, con suficiente antelación al comienzo del suministro, dos *muestras*<sup>28</sup> tomadas al azar en la fábrica. Una de ellas se envía al laboratorio aceptado por la dirección facultativa para verificar que cumple con las especificacio-



nes del pliego de prescripciones técnicas particulares de la obra, mientras que la otra, llamada *muestra de contraste*, debe permanecer en la obra almacenada en un local cerrado, hasta transcurrido un mínimo de un mes desde la finalización de las obras de fábrica del ladrillo correspondiente, para que sirva como referencia de comparación para las sucesivas partidas.

Cuando el material llega a obra, el director debe realizar una inspección ocular de los productos comprobando que las piezas están en buen estado y el material es identificable con lo especificado en los albaranes y el empaquetado, y que el producto se corresponde con la muestra aceptada.

Si las comprobaciones son satisfactorias, el director puede aceptar la partida o, en su caso, solicitar ensayos de control. En caso de no ser satisfactorias las comprobaciones el director puede rechazar la partida. Cuando no sea preciso realizar ensayos de laboratorio, la dirección facultativa puede ordenar la conservación de muestras hasta un mes después de la ejecución de las fábricas correspondientes.

Cuando los ladrillos suministrados estén en posesión de un sello o marca de calidad emitidos por la Administración u organismo reconocido, o estén en posesión del marcado CE, la dirección facultativa puede reducir el control de recepción a la identificación y comprobación de las características aparentes.

En el caso de piezas cerámicas para fábricas, en general se recomienda la marca AENOR. Si las piezas disponen de marca AENOR, no es necesario

efectuar ensayos; solamente hay que inspeccionar que las piezas coinciden con el pedido y que no se han producido roturas durante el transporte. Para ello es suficiente seleccionar un palé por cada partida.

#### • *Ensayos de control*

Sirven para comprobar los aspectos relacionados con el correcto comportamiento físico y mecánico de la fábrica, como son las características geométricas, absorción, densidad, sección neta, bruta e índice de macizo, resistencia a compresión y cualquier otra característica pactada.

En el caso de que se vayan a realizar ensayos, bien porque sea necesario o bien porque así lo disponga la dirección facultativa, por tener previsto un plan de control superior al habitual, las muestras se deben tomar al azar, del mismo palé que haya servido para la inspección previa.

La extracción de muestras debe ser realizada por la dirección facultativa o persona en quien delegue, teniendo derecho a presenciarla un representante del suministrador. Las muestras se consideran representativas de la partida recibida en obra. El número de muestras tomado será suficiente para dejar piezas de reserva, con objeto de realizar posibles ensayos de contraste en caso de conflicto o dudas. Si existen ensayos realizados por un laboratorio ajeno a la fábrica, sólo hay que extraer las muestras de contraste.

Las muestras se deben empaquetar para que puedan ser almacenadas con facilidad y con garantía de que no puedan ser alteradas.

26. Las *Marcas y Sellos de Calidad* son distintivos concedidos por un organismo autorizado y competente, que acompaña siempre a los productos que cumplen determinadas especificaciones técnicas.

27. Se denomina "*partida*" al conjunto de piezas de la misma designación y procedencia que se reciben en la obra en una misma unidad de transporte. Cuando en un mismo día se reciben varias unidades de transporte con piezas de la misma designación y procedencia puede considerarse que el conjunto constituye la partida.

28. Se denomina "*muestra*" al conjunto de piezas extraídas al azar de un lote y sobre las cuales se van a realizar los ensayos correspondientes. El "*lote*" es el conjunto de piezas de un mismo tipo que se van a juzgar conjuntamente.

Cada muestra llevará una etiqueta que permita su correcta identificación, debiendo figurar en ellas, como mínimo, los siguientes datos:

- Nombre del fabricante y, en su caso, marca comercial.
- Designación de la clase y tipo de ladrillo, sus dimensiones nominales, características físicas y resistencia a compresión.
- Nombre de la obra.
- Número de la partida.
- Fecha de la toma de muestras.

Los ensayos de control de piezas cerámicas deben ser realizados en laboratorios debidamente acreditados por la administración en el área de materiales de arcilla cocida.

Los parámetros que se determinan por ensayo para verificar las características de los ladrillos a que hace referencia todo lo expuesto anteriormente, son los siguientes:

#### Características dimensionales y de forma de los ladrillos

El ensayo consiste en la medición de las dimensiones y comprobación de la forma, sobre seis piezas tomadas al azar de la muestra. El espesor de las paredes y las perforaciones se comprueban de forma similar.



#### Características mecánicas y físicas de los ladrillos

Los principales aspectos a comprobar son los siguientes:

- **Resistencia a compresión:** sobre seis ladrillos de la muestra.
- **Heladicidad:** sobre doce ladrillos de la muestra, siendo la calificación de “heladizos” o “no heladizos” el resultado del ensayo.
- **Eflorescencias:** sobre doce ladrillos de la muestra, siendo la calificación de “eflorescido” o “no eflorescido” el resultado del ensayo.
- **Masa:** sobre seis ladrillos de la muestra, desecando con anterioridad las piezas a una temperatura comprendida entre 100°C y 110°C hasta obtener un valor constante. Como resultado se toma el valor medio.

#### Control de recepción del cemento

El control de recepción del cemento es obligatorio en todos los casos. El procedimiento comprende, al menos, una primera fase de comprobación de la documentación, incluidos los distintivos de calidad y el etiquetado, y una segunda fase, que consiste en una inspección visual del suministro. En previsión de que el responsable de la recepción pudiera considerar necesario realizar ensayos, se puede incluir una tercera fase, potestativa, de comprobación del tipo y clase del cemento, así como de sus características químicas, físicas y mecánicas, mediante la realización de ensayos de identificación y, en su caso, ensayos complementarios.

- **Control del cemento.**  
*Primera fase: comprobación de la documentación y del etiquetado*

Al inicio del suministro, el responsable de la recepción, o la persona en quien delegue, debe comprobar que, tanto la documentación que debe facilitar el suministrador, como el etiquetado reglamentario son conformes a lo establecido en la Instrucción RC-08. La documentación debe contener, al menos, lo siguiente:

- Hoja de suministro o albarán.
- Etiquetado.
- Documentos de Conformidad, en particular la documentación correspondiente al marcado CE o, en su caso, a la Certificación de Conformidad del Real Decreto 1313/1988.
- Certificado de garantía del fabricante firmado por persona física, en el caso de aquellos cementos no sujetos al marcado CE.
- Documentación de los distintivos de calidad y, en su caso, la del reconocimiento del distintivo. En particular, el certificado que acredite que el distintivo declarado y, en su caso, el oficialmente reconocido, están vigentes.

El responsable de la recepción, o la persona en quien delegue, deben comprobar que la designación que figura en el albarán, o en la documentación o, en su caso, en los envases, corresponde al tipo y a la clase de resistencia del cemento especificado en el proyecto o en el pedido. Esto es de especial trascendencia en el caso de usos para los

que se han establecido limitaciones o, incluso, prohibiciones totales.

Esta documentación debe ser registrada, archivada y custodiada por el responsable de la recepción, para cada tipo de cemento suministrado, junto con las actas de toma de muestras.

A los efectos de esta fase, el suministro es conforme cuando el etiquetado y la documentación que deben acompañar a la remesa se corresponden con los del cemento solicitado, están completos y reúnen todos los requisitos establecidos.

- **Control del cemento.**  
*Segunda fase: inspección visual*

Una vez superada la fase de control documental, el responsable de la recepción debe, para la aceptación de la remesa, someter el cemento suministrado a una inspección visual cuando, en función del modo de transporte, o del estado de los envases en el momento de su suministro, estime necesario comprobar que el cemento no ha sufrido alteraciones o mezclas indeseables.

A pesar de la dificultad de evaluar el estado del cemento mediante una inspección visual, la Instrucción RC-08 incluye la realización de este tipo de examen para valorar la presencia de ciertos síntomas debidos, en la mayoría de los casos, a deficiencias en el almacenamiento, la carga o el transporte del cemento ocurridos desde su fabricación hasta su llegada al lugar de recepción.

A los efectos de esta fase, el suministro es conforme cuando el cemento no presenta síntomas de meteorización

relevante en relación con el volumen suministrado, no contiene cuerpos extraños y no presenta de manera evidente muestras de heterogeneidad en su aspecto o color. Si la temperatura del cemento al llegar a la obra es superior a 70°C, se debe comprobar también que no tiene tendencia a experimentar falso fraguado.

- **Control del cemento.**  
*Tercera fase: realización de ensayos*

Esta tercera fase de la recepción es potestativa y de aplicación cuando el proyecto así lo establezca o, en cualquier caso, cuando el responsable de la recepción así lo decida por haber obtenido resultados no conformes en las fases anteriores o por haber detectado defectos en el uso de los cementos procedentes de remesas anteriores. Los ensayos se deben realizar de acuerdo con los Anejos 5 y 6 de la Instrucción RC-08.

Los cementos de albañilería no precisan ser sometidos a ensayos de recepción, salvo que así lo indique el pliego de prescripciones técnicas particulares o la dirección facultativa.

En caso de cementos que estén en posesión de un distintivo de calidad de carácter voluntario oficialmente reconocido, como ocurre con aquellos que disponen de la marca AENOR, la dirección facultativa o el responsable de la recepción pueden dispensar de los ensayos que se indican, para cada caso, en la *Instrucción RC-08*.

A los efectos de esta fase, la remesa es conforme cuando el cemento satisface los criterios establecidos en los Anejos 5 y 6 de la Instrucción RC-08.

### *Control de recepción del mortero*

Los morteros industriales deben estar en posesión del marcado CE obligatorio para este tipo de materiales. El control de recepción exige comprobar la etiqueta CE en el saco, albarán o cualquier documento técnico suministrado por el fabricante.

En el caso de morteros hechos en obra es preciso ensayar las características requeridas en su correspondiente norma. Se debe realizar un ensayo de las características generales al inicio de las obras y un ensayo con periodicidad mensual de la resistencia a compresión y la absorción de agua por capilaridad.

### **3.5.2 Control de ejecución de la fábrica**

En el transcurso de la construcción de un elemento de fábrica se deben realizar comprobaciones cuyo número y forma dependen del tipo de edificación, del volumen de la obra y del nivel de control establecido. Los controles a realizar durante la ejecución, el número de los mismos y las condiciones de aceptación o rechazo, tienen como objetivo que las unidades ejecutadas respondan a las especificaciones de proyecto y sean de la calidad suficiente para cumplir las funciones que les son inherentes.

El responsable de calidad debe planificar el control a realizar. La planificación del control es importante porque obliga a definir los puntos de inspección del edificio antes de ejecutar la revisión, evitando así improvisaciones.

Desde el punto de vista del nivel de control de ejecución de las fábricas,

El DB SE-F establecen tres categorías de ejecución: A, B y C, con los requisitos siguientes:

### Control de la ejecución de la fábrica: Categoría A:

- Las piezas tienen certificación de sus especificaciones sobre tipo y grupo, dimensiones y tolerancias, resistencia normalizada, succión y expansión por humedad.
- El mortero tiene certificación de su resistencia a la compresión y a la flexotracción a 7 y 28 días.

- La fábrica tiene un certificado de ensayos previos a compresión, a tracción y a corte según las normas UNE vigentes en el momento.

- Durante la ejecución se realiza una inspección diaria de la obra ejecutada, así como el control y la supervisión continuada por parte del constructor.

### Control de la ejecución de la fábrica: Categoría B:

- Las piezas tienen las certificaciones correspondientes a la categoría

A, excepto en lo que atañe a las propiedades de succión y expansión por humedad.

- El mortero tiene las certificaciones sobre sus resistencias a compresión y a flexotracción a 28 días.

- Durante la ejecución se realiza una inspección diaria de la obra ejecutada, así como el control y la supervisión continuada por parte del constructor.

### Control de la ejecución de la fábrica: Categoría C:

- En los casos en los que no se cumpla alguno de los requisitos establecidos para la categoría B.

En los elementos de fábrica armada se debe especificar sólo categorías A ó B. Sólo se admite la mezcla manual del mortero en proyectos con categoría de ejecución C. En cualquier caso, si alguna de las pruebas de recepción de piezas falla o no se dan las condiciones de categoría de fabricación supuesta, o no se alcanza el tipo de control de ejecución previsto en el proyecto, se puede proceder a un recálculo de la estructura a partir de los parámetros constatados y, en su caso, del coeficiente de seguridad apropiado al caso.

### Tolerancias de ejecución de las fábricas

Cuando en el proyecto no se definan las tolerancias de ejecución de muros verticales, se pueden emplear los valores de la tabla 3.7, que se consideran tomadas en cuenta en las fórmulas de cálculo.

Tabla 3.7 Tolerancias de ejecución para elementos de fábrica

Posición		Tolerancia (mm)
Replanteo	Entre ejes parciales	10
	Entre ejes extremos	20
Planeidad <sup>(1)</sup>	En 1 m	5
	En 10 m	20
Desplome	En la altura de piso	20
	En la altura total del edificio	50
Axialidad		20
Horizontalidad de las hiladas	En 1 m	2
Altura	Parcial	15
	Total	25
Espesor de juntas	En tendel	2
	En llaga	4
Espesor del muro <sup>(2)</sup>	De la hoja del muro	25
	Del muro capuchino	10
Aplomado de llagas	En 3 m	10
	En toda la altura	15

<sup>(1)</sup> La planeidad se mide a partir de una línea recta que une dos puntos cualesquiera del elemento de fábrica.

<sup>(2)</sup> Excluyendo el caso en que el espesor de la hoja está directamente vinculada a las tolerancias de fabricación de las piezas (en fábricas a soga o a tizón) se puede llegar al 5% del espesor de la hoja.

