

Análisis de los requisitos de la reglamentación española aplicables a las armaduras de tendel de fábricas

Steel For Bricks GZ SL

10 de marzo de 2021

Sumario

1	Introducción	3
2	Aplicación de los requisitos reglamentarios de dimensionado a las armaduras de tendel	4
2.1	Descripción de las soluciones de armado de tendel	4
2.2	Dimensionado de las armaduras de tendel según exigencias reglamentarias (DB-SE-F)	5
2.3	Marcado CE de las armaduras de tendel	6
3	Conclusiones	7
	Anexo 1: Reglamentación de aplicación a la fábrica armada	8
A1.1	DB SE-F <i>Seguridad estructural. Fábrica</i>	8
A1.2	Eurocódigo 6	10
A1.2.1	Naturaleza de los Eurocódigos	10
A1.2.2	Exigencias para la fábrica armada en el Eurocódigo 6	11
A1.2.3	Otras referencias de diseño estructural	12

1 Introducción

Steel For Bricks GZ SL ha solicitado al ITeC la elaboración de un informe técnico sobre los requisitos reglamentarios que aplican en España a un muro de obra de fábrica cerámica armado, más concretamente, los aplicables al armado con armaduras de tendel.

La necesidad de evidenciar los citados requisitos reglamentarios de aplicación en el contexto reglamentario español se produce a raíz de que en una obra(*) en la que concurre Steel For Bricks GZ con su solución técnica de armado de tendeles de tipo convencional para un muro cerámico de cerramiento de fachada, otro proveedor aporta la solución técnica de armado de tendel basada en la armadura Murfor® Compact de acero de alta resistencia y reducida sección de armaduras.

() La obra concreta en cuestión que es el detonante de este análisis es la fachada de ladrillo de 115 mm de espesor para el cerramiento del edificio Delfin Tower en Benidorm (Alicante).*

El presente informe tiene como finalidad poner de manifiesto los requisitos que la reglamentación española establece al respecto del diseño y dimensionado de las armaduras de tendel de muros de fábrica y trasladar dichos requisitos al dimensionado del armado de los muros empleando las citadas soluciones de armado .

Esta reglamentación es la siguiente:

- DB SE-F *Seguridad estructural. Fábrica* (20 diciembre 2019).
- Eurocódigo 6. UNE-EN 1996-1-1:2011+A1:2013: *Proyecto de estructuras de fábrica. Parte 1-1: Reglas generales para estructuras de fábrica armada y sin armar. Fábrica. Parte 1-1: Reglas generales para estructuras de fábrica armada y sin armar.*

Los extractos de los capítulos relevantes, a los efectos del presente informe, de los citados documentos reglamentarios se incluyen como Anexo 1.

2 Aplicación de los requisitos reglamentarios de dimensionado a las armaduras de tendel

2.1 Descripción de las soluciones de armado de tendel

Armaduras de tendel prefabricadas convencionales

Se trata de armaduras prefabricadas formadas por alambres longitudinales paralelos unidos entre sí por alambres transversales que conforman una unidad prefabricada de geometría y características conocidas, formadas por alambres de acero de límites elásticos normales (entre 500 MPa y 600 MPa) y diámetros entre 3 mm y 5 mm.

Concretamente Steel For Bricks GZ dispone de varios modelos de armaduras prefabricadas convencionales, con distintos límites elásticos, diámetros de alambres y anchos de armadura prefabricada, dentro de los rangos típicos arriba indicados.

Se trata de productos cuyo diseño y dimensionado estructural viene determinado por el criterio estructural de las cuantías geométricas mínimas, que es el criterio que establece la reglamentación aplicable a las estructuras y elementos estructurales de obra de fábrica.

Estas armaduras son objeto del marcado CE de acuerdo con las especificaciones de la norma EN 845-3.

Armaduras de tendel de acero de alta resistencia Murfor® Compact

La armadura Murfor® Compact se suministra en rollos de malla de acero compuesta por 7 o 14 alambres (según los distintos submodelos de armadura para cubrir distintos anchos de fábrica) de 1,7 mm de diámetro cada alambre (la sección A_c de cada alambre individual es de $0,687 \text{ mm}^2$). El área total de la sección de acero de la armadura es de $4,83 \text{ mm}^2$ o $9,66 \text{ mm}^2$, respectivamente.

El acero es de altas prestaciones: límite elástico de 1.770 MPa y módulo de elasticidad de 180 GPa, con una elongación total a fuerza máxima del 2,2% (prestaciones según norma EN ISO 15630-3 y EAD 170008-00-0604).

Destaca el valor extraordinariamente reducido del área de la sección de acero, que es del orden de la tercera parte del correspondiente a una armadura de tendel prefabricada convencional y, en contrapartida, el acero de Murfor® Compact es de alta resistencia, del orden del triple del que corresponde al acero de la armadura convencional.

2.2 Dimensionado de las armaduras de tendel según exigencias reglamentarias (DB-SE-F)

La aplicación de los requisitos reglamentarios aplicables a obras de fábrica en España (véase el Anexo 1) a las armaduras de tendel prefabricadas de tipo convencional y a las armaduras de acero de alta resistencia Murfor® Compact conduce a los siguientes resultados:

(a) Dimensionado de armado de tendeles en un muro de ladrillo cara vista de medio pie (115 mm de espesor), que es el espesor de los muros de fachada de la obra a la que se refiere el presente informe

La exigencia de armado mínimo de 0,03% del área bruta de la sección es equivalente a una sección mínima de armado de 34,5 mm² por cada metro de altura del muro, lo que supone:

- Si se emplea la armadura Murfor® Compact menos tupida (7 alambres, 4,83 mm² por armadura): se deben disponer al menos 7,2 hiladas armadas por cada metro, lo que equivale a que éstas se dispongan cada 14 cm como máximo.
- Si se emplea la armadura Murfor® Compact más tupida (14 alambres, 9,66 mm² por armadura): se deben disponer al menos 3,6 hiladas¹ armadas por cada metro, lo que equivale a que éstas se dispongan cada 28 cm como máximo.

La aplicación de esta misma exigencia reglamentaria (armado mínimo de 0,03% del área bruta de la sección) a una armadura prefabricada convencional (que aporta una sección de acero del orden de tres veces la sección de Murfor® Compact), conduce a disponer la armadura de tendel cada 60 cm, es decir:

- A aproximadamente una cuarta parte de la densidad de armado necesaria si se emplea Murfor® Compact de 7 alambres.
- A aproximadamente la mitad de la densidad de armado necesaria si se emplea Murfor® Compact de 14 alambres.

Dicho lo anterior en sentido inverso, si se emplean armaduras Murfor®, el número de armaduras necesarias por metro de altura de muro es del orden de 4 o 2 veces superior (con Murfor® Compact de 7 alambres y Murfor® de 14 alambres), respectivamente, al número de armaduras necesarias, si son de tipo convencional.

¹ Este valor debe ser redondeado al alza a un número entero de armaduras, en función de la altura del muro.

(b) Dimensionado de armado de tendeles en un muro de bloques de hormigón o de bloques Termoarcilla (espesor típico de 190 mm)

La exigencia de armado mínimo de 0,03% del área bruta de la sección es equivalente a una sección mínima de armado de 57,0 mm² por cada metro de altura del muro, lo que supone:

- Si se emplea la armadura Murfor® Compact menos tupida (7 alambres, 4,83 mm² por armadura): se deben disponer al menos 12 hiladas armadas por cada metro, lo que equivale a que éstas se dispongan cada 8,5 cm como máximo, lo cual ni siquiera es factible dado que la altura de las piezas es típicamente de 20 cm.
- Si se emplea la armadura Murfor® Compact más tupida (14 alambres, 9,66 mm² por armadura): se deben disponer al menos 6 hiladas armadas por cada metro, lo que equivale a que éstas se dispongan cada 17 cm como máximo, lo cual ni siquiera es factible dado que la altura de las piezas es típicamente de 20 cm.

En este segundo ejemplo se puede observar que incluso si se dispusieran armaduras Murfor® Compact en todas las hiladas del muro, solución de dudosa eficiencia económica, no se podría llegar a cumplir con la exigencia reglamentaria de sección mínima de armado.

Para ello habría que duplicar la armadura Murfor® Compact (colocar dos armaduras Murfor® adyacentes en cada tendel a armar para cubrir el ancho de muro de 190 mm), con lo que se duplicaría la sección de armado y con ello se conseguiría duplicar la separación vertical entre armaduras admisible hasta un máximo de 34 cm.

2.3 Marcado CE de las armaduras de tendel

Armaduras de tendel prefabricadas convencionales

Estas armaduras son objeto del marcado CE de acuerdo con las especificaciones de la norma EN 845-3.

Armaduras de tendel Murfor® Compact

La armadura Murfor® Compact, que no queda cubierta por la norma EN 845-3, es objeto de la evaluación técnica europea ETA 18/0316 y del consiguiente marcado CE. En base a ello el fabricante emite la consiguiente declaración de las prestaciones de su producto.

Por lo tanto, desde el punto de vista de los requisitos de puesta en el mercado del producto, el producto Murfor® Compact cumple nítidamente con las exigencias de comercialización que le son de aplicación, por cuanto que declara las prestaciones del producto que son necesarias para el empleo del producto en los proyectos y en las obras de construcción.

Sin embargo, el marcado CE de las armaduras no implica automáticamente el cumplimiento de las exigencias reglamentarias de las obras en el país de destino que, para el caso que nos ocupa de un muro de cerramiento de fachada en una obra situada en España, se establecen en el DB-SE-F.

Estas exigencias conducen a la necesidad de verificación, en el contexto de cada obra de construcción, del dimensionado mínimo de las armaduras de tendel del muro, tal como se desarrolla en el apartado 2.2 del presente informe.

3 Conclusiones

La reglamentación de referencia para el diseño de fábricas en España (DB-SE-F) no deja lugar a dudas acerca de las condiciones a cumplir para el armado de tendeles de obras de fábrica: en los muros armados deben cumplirse, como condición geométrica independiente de las propiedades del acero de las armaduras, las secciones de armado mínimas que se establecen en el apartado 7.5.1 del citado DB-SE-F. El Eurocódigo 6, que constituye el consenso técnico al respecto del diseño de obras de fábrica estructurales en Europa, establece los mismos requisitos.

Este concepto de las cuantías mínimas es un concepto técnico fundamental del diseño estructural, que subyace a los códigos estructurales no sólo en el terreno de la obra de fábrica, sino también en los códigos del hormigón armado, material que presenta una problemática básica -material de baja tolerancia a los movimientos- análoga a la de la obra de fábrica. Con este tipo de materiales estructurales, el empleo de armaduras de refuerzo de aceros de alta resistencia no es una estrategia en absoluto eficaz, como se explica en el anexo 1 del presente informe. Sólo lo sería en estructuras pretensadas, que no son objeto del presente informe.

En definitiva, la aplicación de las cuantías geométricas mínimas estipuladas por la reglamentación española al muro cerámico de cerramiento de 115 mm de espesor objeto del presente informe conduce a unas necesidades de armado muy superiores si se adopta la armadura Murfor® Compact, respecto al caso de adoptarse una armadura de tendel prefabricada convencional, tal como se ha cuantificado en el apartado 2.2 (a) del presente informe.

Anexo 1: Reglamentación de aplicación a la fábrica armada

A1.1 DB SE-F Seguridad estructural. Fábrica

El documento reglamentario aplicable al diseño, verificación y ejecución de elementos de fábrica en España, en aplicación y desarrollo del Código Técnico de la Edificación, es el Documento básico DB-SE-F.

Los requisitos de la fábrica armada están descritos en el apartado 7.5 del DB-SE-F y, más concretamente, los requisitos de dimensionado de las armaduras están recogidos en el apartado 7.5.1 *Sección mínima de la armadura*, cuyos puntos relevantes a los efectos del presente informe se reproducen a continuación.

“7.5 Disposiciones relativas a las armaduras

7.5.1 Sección mínima de la armadura

1. La sección de la armadura principal no será menor que el 0,1% de la sección del muro (producto del canto útil por el ancho eficaz que se considera). **En los muros en que los tendeles se han armado para incrementar su resistencia frente a cargas laterales, la sección de dicha armadura no será menor que el 0,03 % del área bruta de la sección.**
2. **Cuando las armaduras de los tendeles se dispongan para controlar la fisuración o para dotar a la fábrica de ductilidad, el área de la armadura no será menor que el 0,03 % y la separación vertical no será mayor que 600 mm.**
3. Un elemento de fábrica con una armadura incluida en sus huecos, solicitada a flexión en una dirección, necesita de otra armadura transversal en dirección perpendicular a la principal. El área de la armadura transversal no será menor que 0,05 % del producto del ancho total por el canto útil.
4. La armadura transversal puede colaborar en el control de la fisuración debida a movimientos térmicos o a la humedad.
5. En muros con pilastras armadas u otras construcciones similares no se precisa armadura transversal, a menos que sea necesaria para enlazar la fábrica al hormigón de relleno.
6. Las armaduras tendrán un diámetro nominal mínimo de 6 mm. Las barras corrugadas o grafiladas tendrán un diámetro nominal mínimo de 6 mm. Las barras o alambres de las mallas o armaduras de tendel tendrán un diámetro nominal mínimo de 5 mm. En el caso de armaduras electrosoldadas en celosía, podrán emplearse, en los elementos transversales de conexión de la celosía, alambres de 4 y 4,5 mm de diámetro.”

Comentarios

El título del apartado 7.5.1 (*Sección mínima de armado*) ya es premonitorio de lo que se desarrolla en el cuerpo del texto del apartado. A saber, en la tecnología de la fábrica armada se requieren unos armados mínimos, que son independientes de las propiedades resistentes de la fábrica y de las de su armado:

- Si se trata de muros cuyos tendeles se arman para incrementar la resistencia frente a cargas laterales, la sección de dicha armadura no será menor que el 0,03 % del área bruta de la sección.
- Si las armaduras se colocan para controlar la fisuración o para dotar a la fábrica de ductilidad, la sección de dicha armadura no será menor que el 0,03 % del área bruta de la sección y la separación vertical no será mayor que 600 mm.

Esta segunda condición está motivada por el hecho que las fábricas son intrínsecamente frágiles frente a deformaciones de origen térmico o reológico, que conducirían a la fisuración de la misma con el tiempo, con los consiguientes problemas de índole estética y de pérdida de durabilidad. El armado de los tendeles dota de cierta ductilidad a la fábrica para seguir dichos movimientos sin fisurarse, además de dotarla de capacidad para asumir los movimientos y energías de origen sísmico, que deben asumirse a través de la propiedad de ductilidad del elemento.

Es por lo tanto una condición de sección mínima, es decir, puramente geométrica (que en el contexto del diseño estructural con hormigón armado toma el nombre de “cuantía mínima”, aunque responde exactamente al mismo concepto), independiente del estado tensional y del requisito de resistencia que pueda tener el muro de fábrica y también independiente de las propiedades resistentes del material de armado (límite elástico del acero de armado).

La segunda condición que establece la reglamentación, también de carácter geométrico, está relacionada con la homogeneidad de la distribución de la armadura: se requiere que las armaduras de tendel consecutivas no disten más de 600 mm entre sí. Con ello se busca, simplemente, asegurar que ninguna zona del muro quede fuera del campo de acción del armado.

Ahora nos fijamos en la definición del término “fábrica armada” que ofrece el propio DB-SE-F (véase el Anejo A *Terminología* del DB) y que se reproduce a continuación (el subrayado es nuestro):

“Fábrica armada: Fábrica en la que se colocan barras, mallas, o armaduras de tendel, generalmente de acero, embebidas en mortero u hormigón, de modo **que todos los materiales trabajen en conjunto**”.

Efectivamente, el material compuesto “fábrica armada”, para que efectivamente pueda considerarse como tal y trabaje de forma eficaz combinando las propiedades desiguales y complementarias de sus materiales constituyentes (piezas de obra de fábrica, morteros y armaduras metálicas) debe trabajar conjuntamente y, para ello, la distribución de dicho armado en la fábrica debe ser mínimamente uniforme, ya que de otro modo ciertas zonas de la fábrica quedarían huérfanas del efecto beneficioso

de la armadura. El DB-SE-F establece este mínimo de homogeneidad de la distribución de la armadura en la fábrica en una armadura de tendel cada 600 mm de distancia vertical, como máximo.

Del análisis de las dos condiciones anteriores exigidas por la reglamentación a las armaduras de tendel (sección mínima y separación máxima) se deduce que no sería una estrategia eficaz optar por armaduras de tendel de acero de alta resistencia a tracción y menor sección cuando las necesidades estructurales del muro son nulas o, de forma más general, cuando éstas son inferiores a la necesidad de dimensionado estructural del muro.

Para cumplir la condición de sección de armadura mínima (0,03 % del área bruta de la sección) con armaduras cuya sección transversal es inferior a la tradicional, es necesario incrementar el número de hiladas por metro de altura de muro que deben armarse. Ello conlleva un incremento del número de armaduras que se deben disponer por metro de altura de muro y que, en algunas situaciones, el número de hiladas disponibles sea insuficiente.

Tampoco es en general eficaz disponer de un armado de mayor resistencia (y por lo tanto también de mayor capacidad de deformación) si se pretende hacerlo trabajar conjuntamente con un material que intrínsecamente no tolera las deformaciones. Cuanto mayor es la disparidad intrínseca de ambos materiales, más difícil se hace su trabajo compuesto.

En este sentido, el empleo de un acero del triple de resistencia de la habitual y una sección reducida requeriría el triple de deformación de la habitual para la movilización de dicha capacidad resistente, lo que conllevaría que el mortero que la envuelve también debería ser capaz de deformarse el triple para garantizar la compatibilidad de deformaciones, comportamiento que en general no puede esperarse de un mortero.

A1.2 Eurocódigo 6

A1.2.1 Naturaleza de los Eurocódigos

La definición y alcance de los Eurocódigos, según consta en la web ministerial es (<https://www.mitma.gob.es/organos-colegiados/marcado-ce-y-eurocodigos/eurocodigos>):

“Los Eurocódigos estructurales son un conjunto de normas europeas de carácter voluntario, encargadas por la Comisión Europea al Comité Europeo de Normalización, CEN, que proporcionan una serie de métodos comunes para calcular la resistencia mecánica de los elementos que desempeñan una función estructural en una obra de construcción.

Los Organismos Nacionales de Normalización, Aenor en España, tienen la obligación de publicar la norma nacional (UNE-EN) dentro de los plazos establecidos. La norma nacional consta del texto formado por la parte del Eurocódigo seguido de su Anejo Nacional, siempre que éste último exista. El Anejo Nacional es el documento donde se publican los Parámetros de Determinación Nacional, PDN.

Los PDN son los valores, clases o métodos alternativos que permiten escoger el nivel de seguridad requerido por cada Estado.

El propósito de los Eurocódigos es el de ser usados como documentos de referencia para:

- Ofrecer presunción de conformidad de los edificios y obras de ingeniería civil o de alguna de sus partes, con el requisito básico 1 “resistencia mecánica y estabilidad” (incluidos aspectos del requisito básico 4 “seguridad de uso”) y con parte del requisito básico 2 “seguridad en caso de incendio”, incluyendo la durabilidad, tal como se define en el Anexo 1 del Reglamento (UE) nº 305/2011 de Productos de Construcción;
- Servir de base para la especificación de los contratos de obras y servicios de ingeniería
- Servir de base para la elaboración de las especificaciones técnicas armonizadas para los productos de construcción (normas armonizadas y documentos de evaluación técnica europeos, DEE).

...”.

A1.2.2 Exigencias para la fábrica armada en el Eurocódigo 6

Los requisitos de la fábrica armada están especificados en el apartado 8.2.3 del Eurocódigo 6 *Área mínima de la armadura*, cuyos puntos relevantes a los efectos del presente informe se reproducen a continuación.

“8.2.3 Área mínima de la sección de armadura

- (1) En elementos de fábrica armada con armadura para aumentar la resistencia en el plano del elemento, el área de la armadura principal no debería ser menor que 0,05% del área de la sección efectiva del elemento, producto de su anchura efectiva por su canto útil.
- (2) En muros en los que la armadura de acero se dispone en los tendeles para aumentar su resistencia a carga (fuera del plano) lateral, el área total de dicho armado no debería ser menor que el 0,03% del área bruta de la sección del muro (es decir, 0,015% en cada cara).
- (3) Cuando la armadura de tendel se dispone para controlar la fisuración o dotar de ductilidad, el área total de acero no debería ser menor que 0,03% del área bruta de la sección del muro.
- (4) En elementos de fábrica armada con cámara rellena, calculada a flexión en una dirección, se debería disponer de armadura de acero transversal perpendicularmente a la armadura principal para distribuir las tensiones. El área de esta armadura transversal no debería ser menor que 0,05% del área de la sección del elemento, producto de su anchura efectiva por su canto útil.

- | |
|--|
| (5) Cuando un elemento requiera armadura de acero a cortante (véase 6.7.3), el área de esta armadura a cortante no debería ser menor que 0,05% del área de la sección del elemento, producto de su anchura efectiva por su canto útil. |
|--|

Comentarios

Los requisitos en cuanto a sección mínima de armado del Eurocódigo 6 son idénticos a los del DB-SE-F, con la única excepción que el Eurocódigo obvia la condición de uniformidad del armado (separación máxima entre armaduras consecutivas de 600 mm, probablemente por tratarse de una condición relativamente obvia de buena práctica constructiva) y que emplea la forma verbal “debería”, en lugar de la más categórica “debe”, por la propia naturaleza del Eurocódigo en tanto que metodología armonizada europea de diseño estructural, que no obstante no constituye de forma directa el corpus reglamentario obligatorio de cada país (condición que en el caso de España sí ostenta el DB-SE-F).

A1.2.3 Otras referencias de diseño estructural

En el ámbito del hormigón armado estructural, que constituye un problema conceptualmente semejante al de la fábrica armada, por cuanto que el hormigón armado es un material compuesto formado por un material eminentemente frágil y de baja resistencia a tracción (el hormigón) y por un material resistente a tracción (el acero), los principales códigos a nivel internacional de diseño estructural en hormigón armado establecen condiciones geométricas de cuantía mínima de armado (secciones mínimas de armado). Es el caso, por ejemplo, de la Instrucción de hormigón estructural (EHE-08) de aplicación en España, del Eurocódigo 2 como documento técnico armonizado de referencia para el diseño de estructuras de hormigón en Europa, u otros códigos de diseño como la norma ACI 318.