

Documento:



Eh-3

UNIDAD CONSTRUCTIVA

**ACEROS CORRUGADOS PARA
ARMADURAS PASIVAS EN
ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN**

DESCRIPCIÓN

Consideraciones sobre la tipología y características de las barras de acero a emplear para el armado pasivo en estructuras de hormigón.

DAÑO

OXIDACIÓN Y/O CORROSIÓN DEL PROPIO MATERIAL
Y FISURACIONES EN ELEMENTO ESTRUCTURAL

ZONAS AFECTADAS

Estructura, compartimentaciones y acabados



Fig. 1: Barras rectas de acero corrugado



Fig. 2: Barras de acero en rollo

Los aceros utilizados para la elaboración de **armaduras pasivas**, es una clase de acero diseñado especialmente para construir elementos estructurales de hormigón armado. Las barras de acero corrugado presentan resaltes o corrugas que mejoran la adherencia con el hormigón, y poseen una gran ductilidad.

Se entiende por “armaduras pasivas” al resultado de montar, en el correspondiente molde o encofrado, el conjunto de armaduras normalizadas, armaduras elaboradas o ferrallas armadas que, convenientemente solapadas y con los recubrimientos adecuados, tienen una función estructural (Artículo 35. Código Estructural).

Se fabrica a partir de chatarra o mineral de hierro y carbono. En esta aleación el carbono no supera el 2,1% en peso de la composición, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%.

Entre sus propiedades más destacadas se encuentran:

- Resistencia: su elevada resistencia, principalmente a tracción (Limite elástico $f_y = 200$ a 600 Mpa).
- Elasticidad: grandes deformaciones en estado plástico: 210.000 N/mm².
- Ductilidad: capacidad de soportar grandes deformaciones plásticas sin llegar a la rotura una vez superado su límite elástico, mejorando la seguridad frente al colapso en situaciones difíciles de cuantificar o de carácter extraordinario, como las sísmicas.
- Tenacidad: al poseer resistencia y ductilidad, les permite poder absorber grandes cantidades de energía.
- Densidad: es elevada ($\gamma_{acero} = 7.850$ kg/m³).

Los productos de acero que pueden emplearse para la elaboración de armaduras pasivas, según el artículo 34 del Código Estructural, pueden ser:

- Barras rectas o rollos de acero corrugado o grafilado.
- Alambres de acero corrugado o grafilado.

No se permite el empleo de alambres lisos para la elaboración de armaduras pasivas, excepto como elementos de conexión de armaduras básicas electrosoldadas en celosía.

Los productos de acero para armaduras pasivas no presentarán defectos superficiales ni grietas.

Las secciones y las masas nominales por metro serán las establecidas en la tabla 6 de la norma UNE-EN 10080:2006. La sección equivalente no será inferior al 95,5 por 100 de la sección nominal.

RECOMENDACIONES TÉCNICO-CONSTRUCTIVAS

En este documento nos vamos a centrar en las barras rectas o rollos de acero corrugado soldable.

❖ Barras y rollos de acero corrugado soldable.

Los aceros corrugados empleados, bien en barras o rollos serán conforme con la norma UNE-EN 10080.

Los diámetros nominales de las barras de acero corrugado para armaduras pasivas, según el Código Estructural, de acuerdo con la tabla 6 de la UNE EN 10080:2006, serán los siguientes:

Diámetros nominales de las barras corrugadas de acero soldable										
Diámetro de la barra (mm)	6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
Sección (mm ²)	28,3	50,3	78,5	113	154	201	314	491	804	1257
Peso (Kg/m)	0,22	0,40	0,62	0,89	1,21	1,58	2,47	3,85	6,31	9,86

Tabla 1. Diámetros nominales de las barras de acero corrugado

En la tabla siguiente se definen los tipos y características de los aceros soldables, según apartado 34.2.a del Código Estructural (UNE 36065:2011 y UNE 36068:2011):

Tipo de acero		Acero soldable		Acero soldable con características especiales de ductilidad	
Designación		B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
Límite elástico, f_y (N/mm ²)		≥ 400	≥ 500	≥ 400	≥ 500
Carga unitaria de rotura f_s (N/mm ²)		≥ 440	≥ 550	≥ 480	≥ 575
Alargamiento de rotura (%)		≥ 14	≥ 12	≥ 20	≥ 16
Alargamiento total bajo carga máxima, ϵ_{max} (%)	Acero suministrado en obra	≥ 5,00	≥ 5,00	≥ 7,5	≥ 7,5
	Acero suministrado en rollo	≥ 7,5	≥ 7,5	≥ 10,0	≥ 10,0
Relación f_s/f_y		≥ 1,08	≥ 1,08	$1,20 \leq f_s/f_y \leq 1,35$	$1,15 \leq f_s/f_y \leq 1,35$
Relación f_y real/ f_y nominal		---	---	≤ 1,20	≤ 1,25

Tabla 2. Tipos de acero corrugado para armaduras pasivas

Definiciones

- Corruca transversal:
Estrías, resaltos o nervaduras discontinuas y no paralelas al eje longitudinal de la barra.
- Aleta longitudinal:
Resaltos continuos, paralelos al eje longitudinal de la barra y diametralmente opuestos.
- Núcleo:
Parte de la barra no afectada por las corrugas ni por las aletas.
- Ferralla:
Conjunto de los procesos de transformación del acero corrugado, suministrado en barras o en rollos, que tienen por finalidad la elaboración de armaduras pasivas y que incluyen las operaciones de corte, doblado, soldadura, enderezado, etc.
- Armado:
Proceso por el que se proporciona la disposición geométrica definitiva a la ferralla, a partir de las armaduras elaboradas, bien mediante atado con alambre o con soldadura no resistente.
- Montaje:
Proceso de colocación de la armadura pasiva definitiva en el encofrado antes de hormigonar, prestar especial atención al cumplimiento de los recubrimientos, según apartado 44.4.1 y a la colocación de separadores según el apartado 44.3.2 y 49.8.2 del Código Estructural.

El tipo de barra de acero corrugado se puede identificar por la disposición de las corrugas, como se indican en la siguiente imagen:

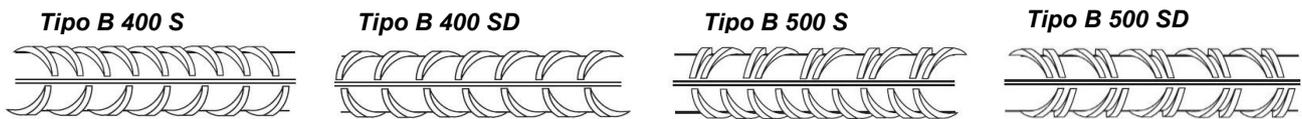


Fig. 3. Identificación del tipo de acero por la disposición de las corrugas

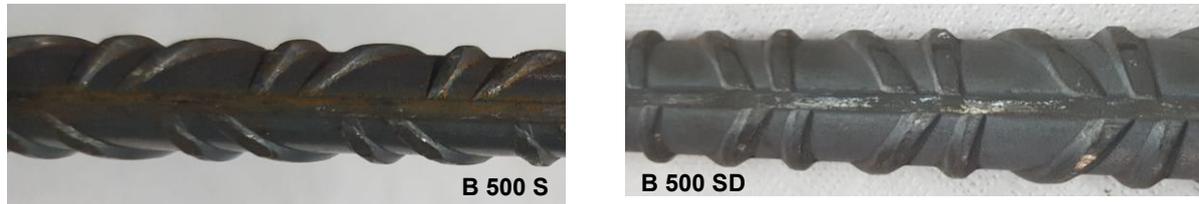


Fig. 4. Barras acero corrugado de 16 mm de diámetro: B 500 S y B 500 SD

La identificación del país y fabricante del acero se realiza mediante el engrosamiento de algunas corrugas en uno de los sectores de la barra. En el caso del acero B 400 S, el sector es el de mayor separación entre corrugas, y en el acero B 500 S, el sector utilizado es el de corrugas de igual inclinación.

En los aceros SD, la identificación se realiza sobre cualquiera de los sectores de corrugas.

En el código de identificación se diferencian tres zonas:

- Inicio de lectura

Comienzo de la identificación y dirección de lectura. Se señala mediante una corruga normal entre dos engrosadas, situada a la izquierda del observador.

- País

A continuación, una serie de corrugas normales (1 a 9) limitada por una nueva corruga engrosada identifica el país del fabricante (España y Portugal tienen asignado el código 7).

- Fabricante

Cada fabricante tiene asignado un número de identificación, que se indica en la barra mediante otro grupo de corrugas normales limitado por una nueva corruga engrosada.

Este número identificativo responde al código asignado por AENOR a cada fabricante, según UNE 36811:1998 IN.

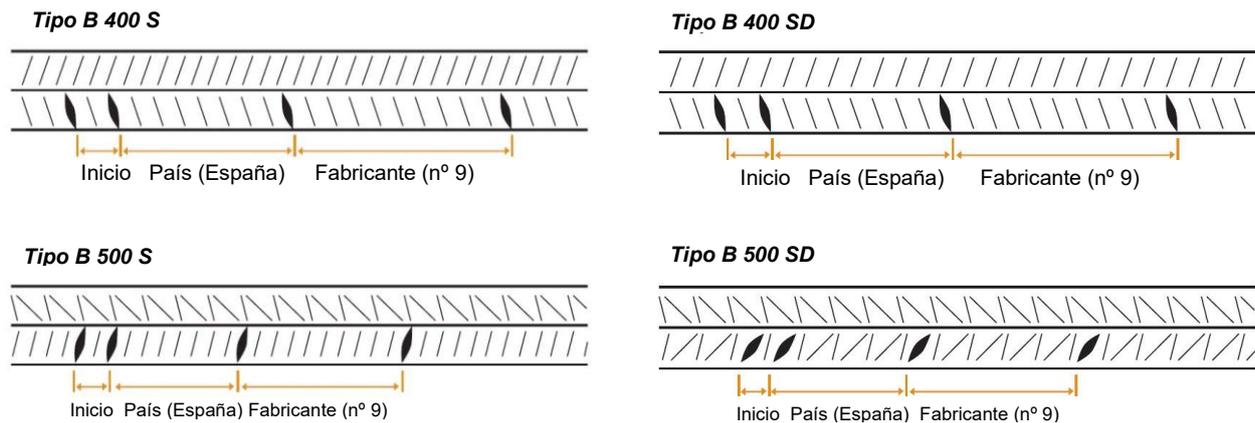


Fig. 5. Identificación de país y fabricante, según el tipo de acero. CALIDAD SIDERURGICA

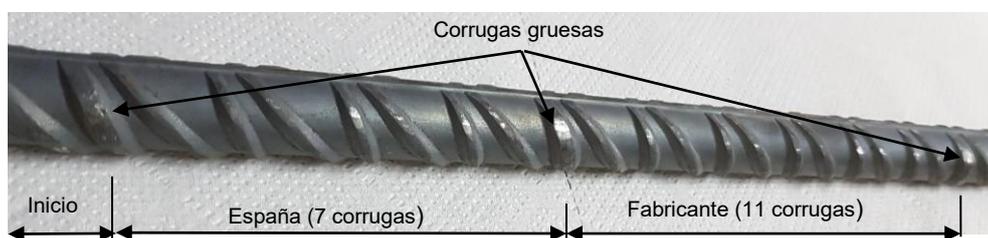


Fig. 6. Identificación del país y fabricante de una barra corrugada del diámetro 16

El suministrador deberá garantizar las características mecánicas mínimas conforme a las prescripciones de la tabla 2 anterior. Además, las barras deberán tener aptitud al doblado-desdoblado, careciendo de grietas apreciables a simple vista al efectuar el ensayo según UNE EN ISO 15630-1:2019.

Los aceros soldables deberán cumplir los requisitos de la tabla 34.2.d en relación con el ensayo de fatiga según UNE-EN ISO 15630-1. Además, para los aceros soldables con características especiales de ductilidad (B 400 SD y B 500 SD), de obligado uso en obras con sollicitación sísmica, no se deberá producir la rotura, parcial o total, ni la aparición de grietas transversales apreciables a simple vista al efectuar el ensayo de carga cíclica (UNE 36065).

Para ello, entre otros, debe superar los dos millones de ciclos de carga en unas condiciones específicas para conseguir la homologación frente a la fatiga, según la tabla 34.2.d del Código Estructural, así como las cargas cíclicas con la alternancia repetida de esfuerzos de tracción y compresión sobre el acero, siendo el efecto de estas alternancias mayor que el producido por la fatiga, según la tabla 34.2.e del Código Estructural.

❖ Corrosión de las armaduras

Los factores desencadenantes más relevantes de la corrosión de las armaduras en el hormigón son la carbonatación de éste y la presencia de iones despasivantes.

CARBONATACIÓN

Se define como carbonatación a la reacción química entre el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera con las sustancias alcalinas presentes en los poros y con los componentes hidratos del hormigón (Hidróxido de calcio ($\text{Ca} [\text{OH}]_2$) contenido en la pasta de cemento).

Para el hormigón armado, el fenómeno de carbonatación puede ser el origen de serios daños estructurales. Como sabemos, la elevada alcalinidad que le confiere el cemento ($\text{pH} > 12$), hace que el hormigón proteja al acero de la corrosión. Sin embargo, la carbonatación reduce la alcalinidad ($\text{pH} < 9$), teniendo como consecuencia la pérdida de la capacidad pasivante del acero, lo que favorece la oxidación.

El desarrollo de la carbonatación depende en gran medida de diversos factores, entre los que se encuentran: el contenido de CO_2 en la atmósfera, permeabilidad del hormigón, cantidad de sustancia carbonatable (tipo y contenido de cemento) y la humedad relativa del ambiente.

El aumento de la relación agua-cemento favorece el proceso de carbonatación, al proporcionar hormigones más permeables. Se estima que un hormigón con relación agua-cemento de 0,7 presenta una profundidad de carbonatación del orden del doble que uno con relación 0,5.

En general, la oxidación y/o corrosión del acero se acompaña siempre con un aumento de volumen de la barra, lo que provoca generalmente el desprendimiento del hormigón que recubre al acero.



Fig. 7. Corrosión de las armaduras y desprendimiento del hormigón de un pilar.



Fig. 8. Oxidación/Corrosión del armado inferior de viga de forjado. Deficiente recubrimiento del armado.

Para determinar “in situ” la pasivación o despasivación del acero, el método más utilizado es el “test de fenolftaleína” (disolución al 1% en etanol), aplicándose sobre un testigo o muestra recién extraída del elemento de hormigón armado.

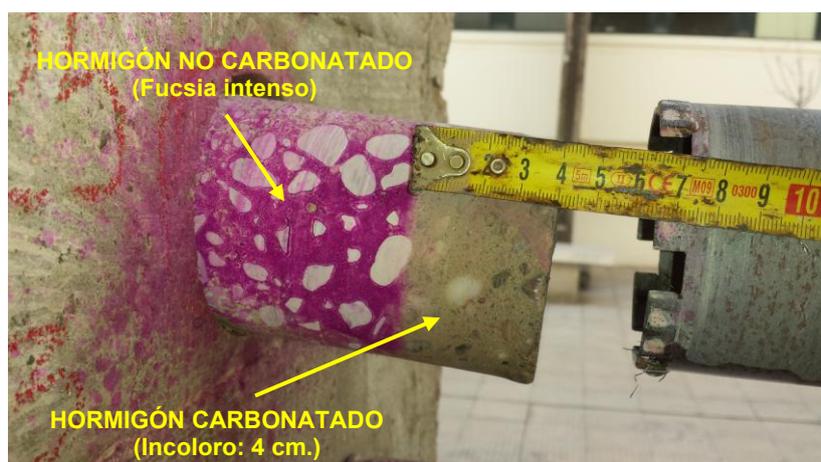


Fig. 9. Determinación de la profundidad de carbonatación en testigo de hormigón de un pilar.
“Test Fenolftaleína”

Si el hormigón en el que se encuentra embebida la armadura adquiere un color fucsia intenso, es indicativo de que ésta se encuentra pasivada. Por el contrario, si es incolora (pH inferiores a 9), implica que el hormigón se encuentra carbonatado y, por lo tanto, la armadura despasivada, lo que puede provocar el inicio de la corrosión.

PRESENCIA DE IONES DESPASIVANTES

Los iones despasivantes, tales como los cloruros (Cl^-), se caracterizan por la destrucción local de la capa pasivante debido a la acción de un agente agresivo. El ataque se localiza en zonas aisladas de la superficie y se propaga hacia el interior del material con una velocidad de corrosión elevada.

Hay que indicar, que la reducción del pH debido a la carbonatación del hormigón o a la presencia de cloruros por encima del umbral considerado crítico, no es causa suficiente para que la corrosión se desarrolle, depende, además, de otros factores condicionantes o acelerantes, como son la disponibilidad de oxígeno y la humedad en la interfase acero/hormigón ya que, sin la presencia simultánea en una cantidad mínima de oxígeno y humedad, la corrosión electroquímica no se produce.



Fig. 10. Corrosión en el armado de viga por ataque de cloruros. Zona marítima

Los iones cloruro pueden ser aportados por las materias primas del hormigón o penetrar desde el exterior (por ejemplo, en el ambiente marino).

Los componentes del hormigón deberán de cumplir las prescripciones incluidas en los artículos 28, 29, 30 31 y 32 del Código Estructural. En el hormigón armado el ión cloruro total aportado no excederá del 0,4% del peso del cemento. Además, se deberá de cumplir que el contenido límite de ión cloruro al final de la vida útil, en función de la clase de exposición y referido al contenido de cemento, los indicados en la tabla A12.3.2.1.a del Código Estructural.

El efecto de la corrosión sobre el acero es la reducción de sección transversal y la disminución de resistencia mecánica.

❖ **Distancia entre barras de armaduras pasivas**

La distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas, será igual o superior al mayor de los tres valores siguientes, según el apartado 49.4.1.1 del Código Estructural:

- 20 mm;
- El diámetro de la mayor;
- 1,25 veces el tamaño máximo del árido

DISTANCIA LIBRE MÍNIMA ENTRE BARRAS AISLADAS						
Diámetro	Tamaño máximo del árido					
	10mm	12mm	15mm	20mm	30mm	40mm
6	≥ 20			≥ 25	≥ 38	≥ 50
8						
10						
12						
14						
16						
20	≥ 25			≥ 25	≥ 38	≥ 50
25						
32	≥ 32			≥ 25	≥ 38	≥ 50
40	≥ 40					

Tabla 3. Distancia libre mínima entre barras aisladas

En el caso de grupos de barras como armadura pasiva, se recomienda aumentar prudencialmente las separaciones mínimas indicadas anteriormente.

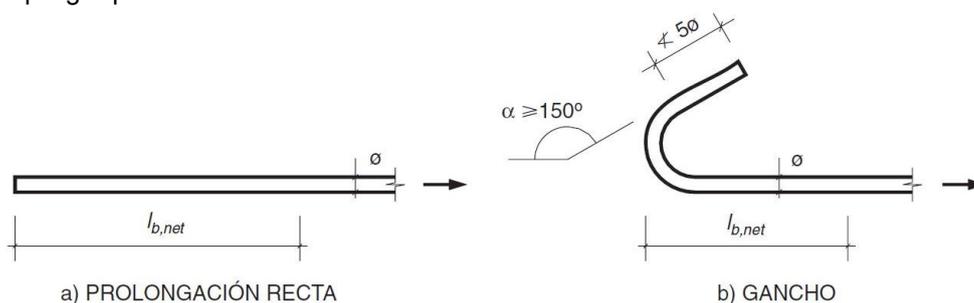
❖ **Anclajes y empalmes de las armaduras pasivas**

Las longitudes de anclajes dependen, entre otros factores, de las propiedades de adherencia y de la posición que ocupen en la pieza de hormigón.

POSICIONES DE ANCLAJE DE LAS ARMADURAS PASIVAS (Apdo.49.5.1.1 del Código Estructural)	
POSICIÓN I	De adherencia buena, para armaduras que durante el hormigonado forman con la horizontal un ángulo comprendido entre 45° y 90° o, que en el caso de formas un ángulo inferior a 45°, están situadas en la mitad inferior de la sección o a una distancia igual o mayor a 30 cm de la cara superior de una capa de hormigonado
POSICIÓN II	De adherencia deficiente, para las armaduras que, durante el hormigonado, no se encuentran en ninguno de los casos anteriores.
OTROS CASOS	En el caso de existir efectos dinámicos, las longitudes de anclajes indicadas en el punto 49.5.1.2 se aumentarán en 10 diámetros.

Tabla 4. Posiciones de anclaje de las armaduras pasivas

Los anclajes extremos de las barras podrán hacerse por los procedimientos normalizados indicados en la figura siguiente, según el apartado 49.5.1.1 del Código Estructural, o por cualquier otro procedimiento mecánico garantizado mediante ensayos, que sea capaz de asegurar la transmisión de esfuerzos al hormigón sin peligro para éste.



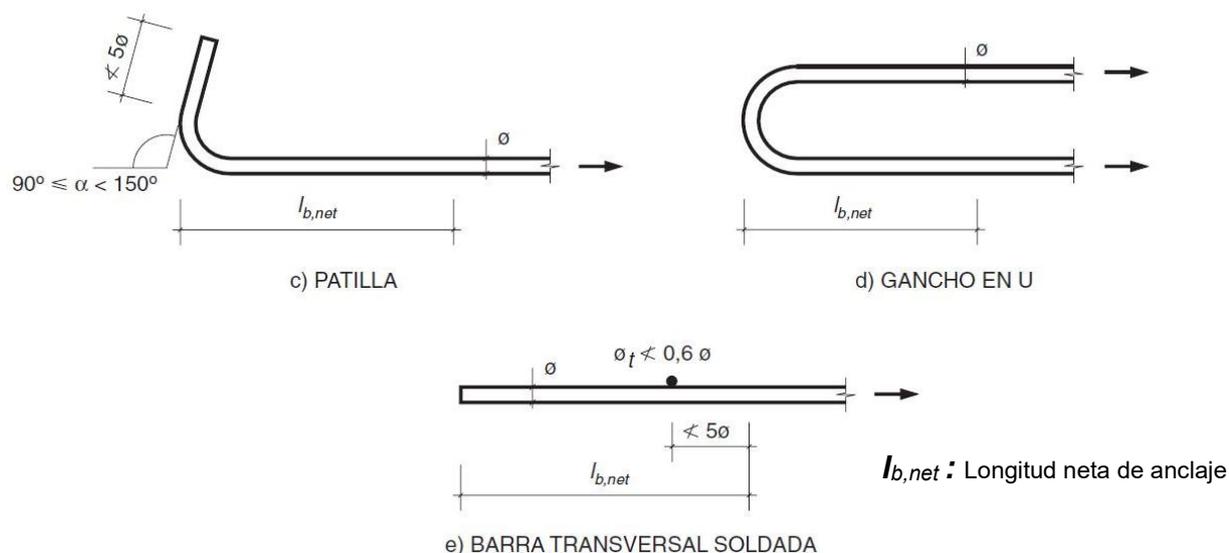


Fig. 11. Procedimientos normalizados para los anclajes extremos de las barras

Los anclajes extremos deberán continuarse hasta los apoyos al menos un tercio de la armadura necesaria para resistir el máximo momento positivo, en el caso de apoyos extremos de vigas; y al menos un cuarto en los intermedios.

❖ Control del acero para armaduras pasivas

En el caso de que el acero deba de disponer de marcado CE, el responsable de la recepción deberá comprobar que reúne los requisitos establecidos y se corresponden con el producto solicitado.

Mientras no esté vigente el marcado CE para los aceros soldables destinados a la elaboración de armaduras pasivas, deberán ser conformes con el Artículo 34 del Código Estructural. La comprobación de su conformidad, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 56 comprenderá:

- un control documental conforme al apartado 21.1 del C.E.,
- en su caso, un control mediante distintivos de calidad oficialmente reconocidos conformes con lo indicado en el Artículo 18 del C.E., y
- en su caso, un control experimental, mediante la realización de ensayos (dicho control experimental no será preceptivo en el caso de que el acero presente un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 18 de dicho Código).

Sin perjuicio de lo establecido al respecto, el plan de control podrá fijar los ensayos que considere pertinentes.

En los productos que no posean un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 18, para la realización de los ensayos, control experimental, se procederá a la división en lotes de la cantidad de acero suministrado.

El tamaño máximo del lote será de 30 toneladas, procedentes del mismo fabricante de acero, marca comercial, tipo de acero, forma de suministro y serie de diámetros.

Las series de diámetros se clasifican como sigue a continuación:

- Serie fina: diámetros hasta 10 mm.
- Serie media: diámetros desde 12 mm hasta 20 mm.
- Serie gruesa: diámetros 25 mm y 32 mm.
- Serie muy gruesa: diámetros desde 40 mm.

De cada lote, se tomará una muestra representativa formada por dos barras diferentes y a cada una de ellas se realizarán los siguientes ensayos de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 15630-1:

- Determinación de las características geométricas para las corrugas.
- Determinación de la masa por metro (m/m).
- Ensayo de tracción.
- Ensayo de doblado-desdoblado o, alternativamente, el ensayo de doblado simple, con los mandriles especificados en el artículo 34 del Código Estructural.

Los ensayos o resultados se considerarán satisfactorio cuando cumplan las especificaciones que le sean de aplicación en el artículo 34 del Código Estructural.

Adicionalmente, en el caso de suministros de acero superiores a 300 toneladas, se deberá determinar la composición química sobre uno de cada cuatro lotes. Se llevarán a cabo un mínimo de cinco ensayos sobre el lote seleccionado, en coladas de acero diferentes, según UNE-EN 10080:2006.

Se verificará además el comportamiento frente a fatiga y cargas cíclicas como se indica a continuación:

- en el caso de estructuras sometidas a fatiga, el comportamiento de los productos de acero para hormigón armado frente a la fatiga podrá demostrarse mediante la presentación de un informe de ensayos, realizados conforme a la norma UNE-EN ISO 15630-1.
- en el caso de estructuras situadas en zona sísmica, el comportamiento frente a cargas cíclicas con deformaciones alternativas podrá demostrarse, salvo indicación contraria de la dirección facultativa, mediante la presentación de un informe de ensayos.

En ambos casos deberá garantizar el cumplimiento de las exigencias definidas en el Artículo 34 del Código Estructural, con una antigüedad no superior a un año y realizado por un laboratorio de los recogidos en el apartado 17.2.2.1 del Código.

Veamos un ejemplo, considerando que se suministra a obra una partida con menos de 30 toneladas de barras de acero corrugado de los diámetros 6, 10, 12, 16, 20 y 25, todos del mismo suministrador y fabricante, del tipo B 500 SD.

En primer lugar, comprobamos las series que tenemos en este caso, tres series (fina Ø 6 y 10, media Ø 12, 16 y 20 y gruesa Ø 25), lo que implica un total de tres lotes (uno por cada serie), por tanto, de cada lote se tomará una muestra representativa formada por dos barras diferentes y sobre cada una de ellas se realizarán los siguientes ensayos de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 15630-1:

LOTES	ENSAYOS A BARRAS DE ACERO CORRUGADO			
	Características geométricas	Sección equivalente	Doblado-desdoblado	Ensayo de tracción
SERIE FINA: 6 y 10	2	2	2	2 (1 por Ø)
SERIE MEDIA: 12, 16 y 20	2 (2 de los 3)	2 (2 de los 3)	2 (2 de los 3)	3 (1 por Ø)
SERIE GRUESA: 25	2	2	2	1 (1 por Ø)

Tabla5. Ejemplo con el número de ensayos a realizar a barras de acero corrugado

❖ Toma de muestras de las armaduras

La dirección facultativa, por sí misma, a través de una entidad de control o un laboratorio de control, efectuará la toma de muestras sobre las armaduras normalizadas. Podrán estar presentes durante la misma, representantes del constructor y del suministrador de las armaduras. (Apartado 59.1.1 del Código Estructural).

REFERENCIAS

FUNDACIÓN MUSAAT	
AUTOR ● Alberto Moreno Cansado	Calle del Jazmín, 66. 28033 Madrid
	www.fundacionmusaat.musaat.es

IMÁGENES

- Grupo Gallardo: Fig. 1 y 2.
- C. Estructural: Tabla: 2 y Fig. 11.
- Alberto Moreno Cansado: Tabla 1, 3, 4 y 5. Fig. 4 y 6 a 10,
- Calidad Siderúrgica: Fig.3 y 5.

BIBLIOGRAFÍA y NORMATIVA

- Código Estructural ● Normas UNE-EN 10080:2006, UNE 36065:2011, UNE EN 36068:2011, UNE 36811:1998 IN, UNE-EN ISO 15630-1:2019. ● Calidad Siderúrgica: Fichas informativas de productos certificados.

CONTROL: ISSN: 2340-7573 Data: 18/2 Ord.: 13 Vol.: E N°: Eh-3 Ver.: 2

NOTA: Los conceptos, datos y recomendaciones incluidas en este documento son de carácter orientativo y están pensados para ser ilustrativos desde el punto de vista divulgativo, fundamentados desde una perspectiva teórica, así como redactados desde la experiencia propia en procesos patológicos.

© del Autor

© de esta publicación, Fundación MUSAAT

Nota:

En este documento se incluyen textos de la normativa vigente