

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 DAÑADAS

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 (Artº. 33 EHE-08).

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 ($\gamma_{\text{acero}} = 7.850$ kg/m³).

Los productos de acero que pueden emplearse para la elaboración de armaduras pasivas son de sección circular, normalizadas y fabricadas en forma de:

- Barras rectas o rollos de acero corrugado soldable.
- Alambres de acero corrugado o grafilado soldable.
- Alambre liso de acero soldable, solo pueden utilizarse como elemento de conexión de armaduras básicas electrosoldadas en celosía.

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 EH-08 (de acuerdo con la tabla 6 de la UNE EN 10080), serán los definidos en la tabla siguiente:

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 corrugados, según tabla 32.2.a de la EHE-08:

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		≥ 1,05	≥ 1,05	$1,20 \leq f_s/f_y \leq 1,35$	$1,15 \leq f_s/f_y \leq 1,35$
Relación $f_y \text{ real}/f_y \text{ nominal}$		---	---	≤ 1,20	≤ 1,25

Tabla 2. Tipos de acero corrugado para armaduras

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 a la colocación de separadores y al cumplimiento de los recubrimientos (Artº 69 EHE-08).

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

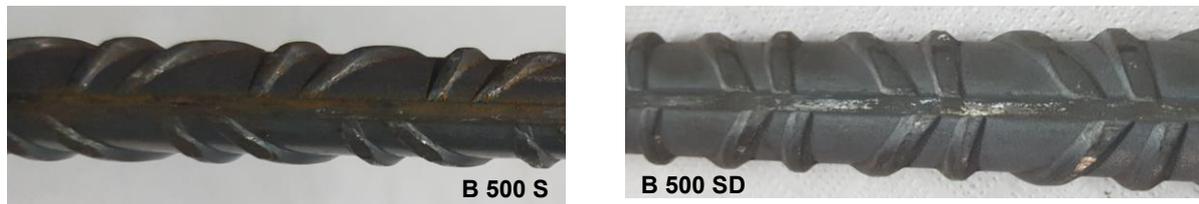


Fig. 4. Barras acero corrugado de 16 mm de diámetro: B 500 S y B 500 SD

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.

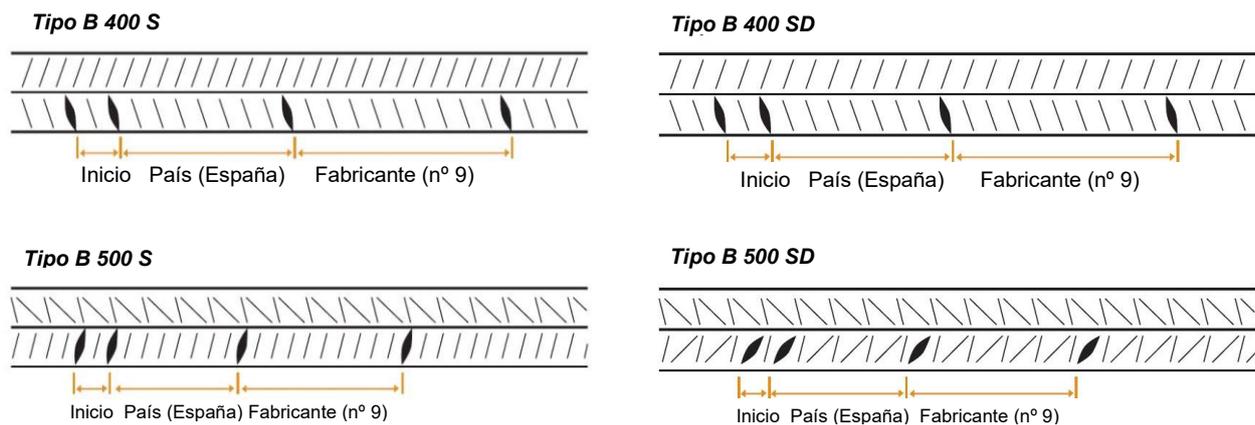


Fig. 5. Identificación de país y fabricante, según el tipo de acero. CALIDAD SIDERURGICA

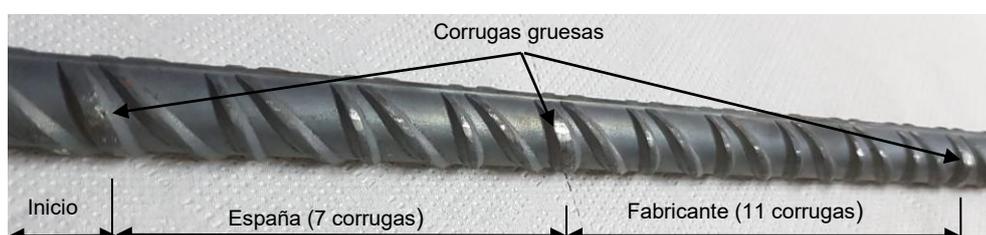


Fig. 6. Identificación del país y fabricante de una barra corrugada del diámetro 16

El suministrador deberá garantizar las características mecánicas mínimas conforme a las prescripciones de la tabla 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.

Alternativamente al ensayo de aptitud al doblado-desdoblado, se podrá realizar el ensayo de doblado simple, según UNE EN ISO 15630-1.

Los aceros tipos B 400 SD y B 500 SD (aceros soldables con características especiales de ductilidad), deberán cumplir los requisitos en relación con el ensayo de fatiga (UNE EN ISO 15630-1) así como los relativos al ensayo de deformación alternativa (UNE 36065 EX), según los valores indicados en la tabla 32.2.d y 32.2.e, de la EHE-08.

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, 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.

❖ 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 pasivantes.

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.

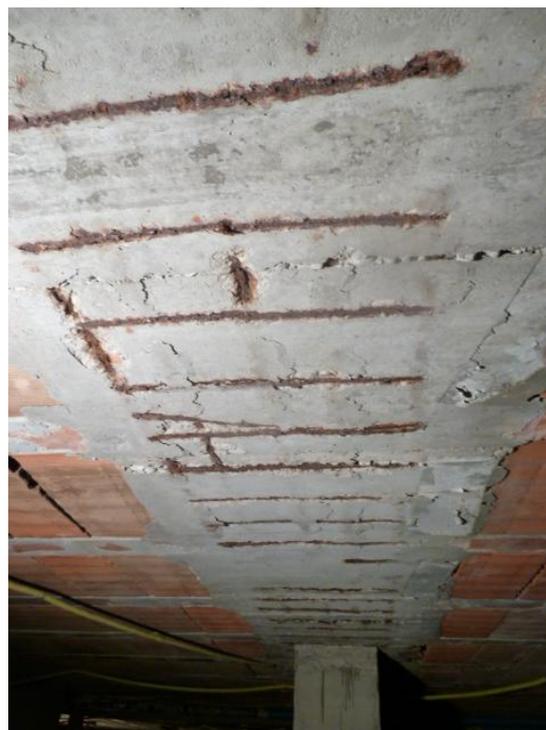


Fig. 8. Oxidación/Corrosión del armado inferior de viga de forjado. Deficiente recubrimiento del armado.

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

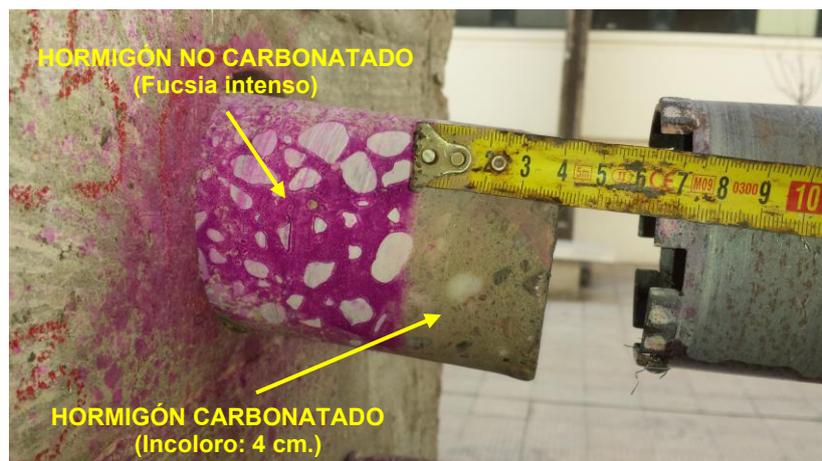


Fig. 9. Determinación de la profundidad de carbonatación en testigo de hormigón de un pilar. “Test Fenoltaleína”

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 PASIVANTES

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).

Se prohíbe el empleo de materiales componentes que contengan iones despasivantes, como cloruros, sulfuros y sulfatos, en proporciones superiores a las indicadas en los Artº. 27, 28, 29 y 30 de la EHE-08. Además se deberá de cumplir que el contenido total de cloruros al final de la vida útil, sea inferior al 0,6% del peso del cemento, en el caso de obras de hormigón armado (Artº 37.4.1 EHE-08).

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 artº. 69.4.1.1 EHE-08:

- 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				≥ 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.

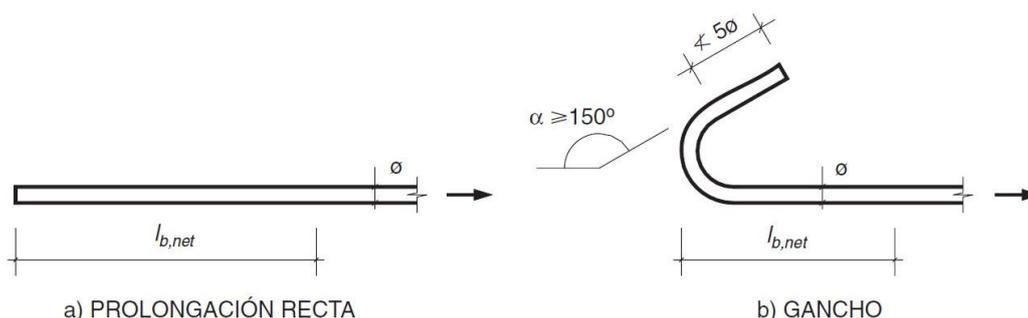
❖ **Anclajes y empalmes de las armaduras pasivas**

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 (Artº. 69.5.1.1 EHE-08)	
POSICIÓN I	De adherencia buena, para armaduras que durante el hormigonado forman con la horizontal un ángulo comprendido entre 45º y 90º o, que en el caso de formas un ángulo inferior a 45º, 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 69.5.1.2 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 punto 69.5.1.1 de la EHE-08:



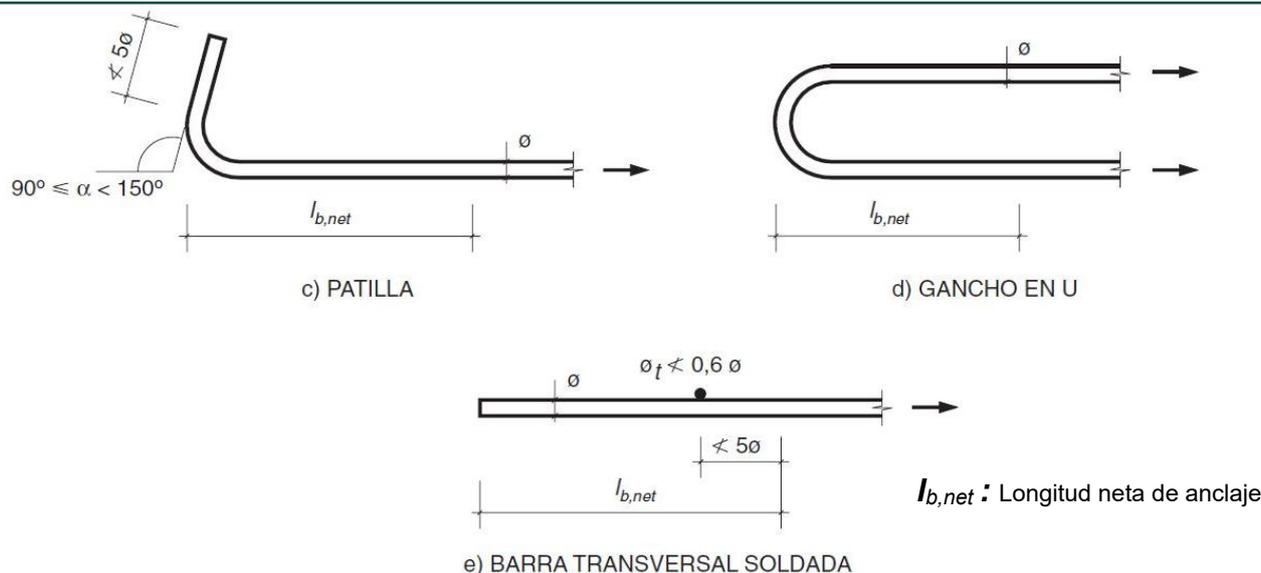


Fig.11. Tipos normalizados de anclajes extremos

En caso de ser necesario el grifado de barras de acero corrugado en obra, se deberá tener en cuenta las indicaciones dadas en el ángulo de giro, y teniendo presente que la pendiente sea inferior a 1/6, y siempre y cuando la separación entre cada barra sea superior a los 4ϕ (diámetros), según la EHE-08.

❖ Control del acero para armaduras pasivas

La conformidad del acero cuando éste disponga de marcado CE, se comprobará que los documentos cumplen con las especificaciones de proyecto y el artº 32 de la EHE-08.

Para el caso que **no esté vigente el marcado CE** para los aceros corrugados, la demostración de dicha conformidad, según el Artº 88.5.2, se podrá efectuar mediante:

- ✓ La posesión de un **distintivo de calidad** con un reconocimiento oficial en vigor, conforme estable el Anejo nº 19 de la EHE-08.
- ✓ La realización de **ensayos de comprobación** durante la recepción. En dicho caso, según la cantidad de acero suministrad
- ✓ o, se diferenciaran entre:

- Suministros de menos de 300 toneladas:

Se divide el suministro en **lotes**, correspondientes cada uno a un mismo **suministrador, fabricante, designación y serie**, siendo su cantidad máxima de 40 toneladas.

Las series de los diámetros de los aceros para armaduras pasivas, según la norma UNE EN 10080, se dividen en:

- Serie fina o diámetros pequeños: Barras de diámetros 6, 8 y 10.
- Serie media o diámetros medios: Barras de diámetro 12, 16 y 20.
- Serie gruesa o diámetros gruesos: Barras de diámetros 25 y 32.
- Serie muy gruesa o diámetros muy gruesos: Barras de diámetro 40 y 50.

Para **cada lote**, se tomarán **dos probetas** para determinarle los siguientes ensayos:

- Comprobación de la sección media equivalente (Artº 32.1 EHE-08)
- Comprobación de las características geométricas (UNE-EN ISO 15630-1).
- Ensayo de doblado-desdoblado o, alternativamente, el ensayo de doblado simple. (UNE-EN ISO 15630, con los mandriles indicados en la norma UNE-EN 10080.

Además, se comprobará, al menos en **una probeta** de cada diámetro, el tipo de acero empleado y el fabricante, así como que el límite elástico, la carga de rotura, la relación entre ambos, el alargamiento de rotura y el alargamiento bajo carga máxima (UNE EN ISO 15630-2), cumple las especificaciones del artº 32 de la EHE-08 .

- Suministros iguales o superiores a 300 toneladas:

Será de aplicación general lo indicado anteriormente para suministros más pequeños ampliando a cuatro probetas la comprobación de las características mecánicas enunciadas en el último párrafo.

Alternativamente, el suministrador podrá optar por un certificado de trazabilidad, en el que se declaren los fabricantes y coladas correspondientes a cada parte del suministro. Además, facilitará una copia de los resultados de los ensayos mecánicos y químicos de cada colada. Se efectuará, en este caso, ensayos de contraste de la trazabilidad de la colada, mediante la determinación de las características químicas, sobre uno de cada cuatro lotes.

Comprobada la trazabilidad de las coladas y la conformidad respecto a las características químicas, se procederá a la división en **lotes**, correspondiente a **cada colada, serie y fabricante**, cuyo número no podrá ser en ningún caso inferior a 15.

Para **cada lote**, se tomarán **dos probetas** sobre las que se efectuarán los siguientes ensayos:

- Comprobación de la sección media equivalente.
- Comprobación de las características geométricas (UNE-EN ISO 15630-1).
- Ensayo de doblado-desdoblado o, alternativamente, el ensayo de doblado simple. (UNE-EN ISO 15630, con los mandriles indicados en la norma UNE-EN 10080).
- Comprobar que el límite elástico, la carga de rotura, la relación entre ambos y alargamiento en rotura cumplen las especificaciones de la EHE-08.

Veamos un ejemplo, considerando que se suministra a obra una partida con menos de 40 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 tendríamos que realizar los siguientes ensayos:

LOTES	ENSAYOS A BARRAS DE ACERO CORRUGADO			
	Sección equivalente	Características geométricas	Doblado-desdoblado	Características mecánicas
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 los acopios destinados a la obra. En el caso de armaduras elaboradas o de ferralla armada, la toma de muestras se efectuará en la propia instalación donde se estén fabricando, no obstante, en casos excepcionales, la D.F. efectuará la toma de muestras en la propia obra.

REFERENCIAS

FUNDACIÓN MUSAAT	
AUTOR ● Alberto Moreno Cansado	Calle del Jazmín, 66. 28033 Madrid
COLABORADOR ● Manuel Jesús Carretero Ayuso	www.fundacionmusaat.musaat.es

IMÁGENES
● Grupo Gallardo: Fig. 1 y 2. ● EHE-08: Tabla: 2. Fig. 11 ● Alberto Moreno Cansado: Tabla 1, 3, 4 y 5. Fig. 4 y 6 a 10, ● C. SIDERURGICA: Fig.3 y 5.

BIBLIOGRAFÍA y NORMATIVA
● EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural. Comentada por los miembros de la Comisión Permanente del Hormigón ● Normas UNE-EN ISO 15630-1, UNE EN 36068, UNE 36065, UNE-36831, UNE-EN 10080. ● UNE 36811 ● Calidad Siderúrgica: Fichas informativas de productos certificados. ● Aceros y Hormigón. Su control en Tablas. M. Jesús Carretero Ayuso.

CONTROL:	ISSN: 2340-7573	Data: 18/2	Ord.: 13	Vol.: E	Nº: Eh-3	Ver.: 1
-----------------	------------------------	-------------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------

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