

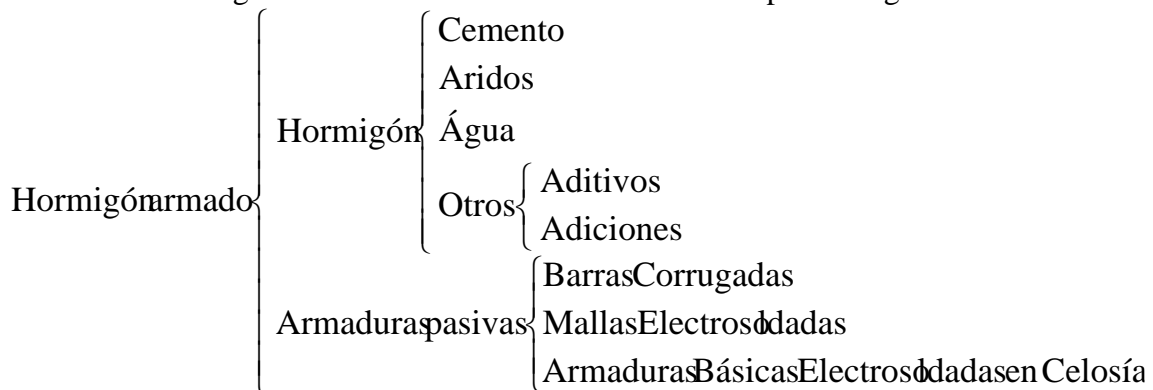
Tema 5: **Armaduras Pasivas**

CONTENIDO:

1.	Introducción.....	2
2.	Generalidades	2
3.	Barras corrugadas	4
3.1	Tipos de aceros	6
3.2	Requisitos técnicos.....	7
3.3	Designación	8
3.4	Suministro.....	8
4.	Mallas electrosoldadas.....	9
4.1	Requisitos técnicos	11
4.2	Designación	11
4.3	Suministro.....	12
5.	Armaduras básicas electrosoldadas en celosía	14
5.1	Requisitos técnicos	15
5.2	Designación:	15
5.3	Suministro.....	16
6.	Disposición general de armaduras.....	16
6.1	Distancia entre barras.....	16
6.2	Distancias a los paramentos.....	17
6.3	Patologías por incumplimiento de recubrimientos y distancias entre armaduras.....	23

1. INTRODUCCIÓN

Tal y como se indicó en el Tema 1, el hormigón armado es el material obtenido colocando en el interior del hormigón barras de acero, denominadas armaduras pasivas. Podemos considerar por lo tanto al hormigón armado como el material constituido por los siguientes elementos:



Donde la Armadura Pasiva son los elementos de acero (soldable) que se introducen en el encofrado con una función estructural: básicamente la de soportar las tracciones que no puede soportar el hormigón.

En el presente tema se realiza un breve estudio de las características fundamentales de los aceros y elementos que constituyen las armaduras pasivas, así como la disposición general de estas armaduras en el interior del hormigón.

2. GENERALIDADES

Los productos de acero que pueden emplearse para la elaboración de armaduras pasivas son:

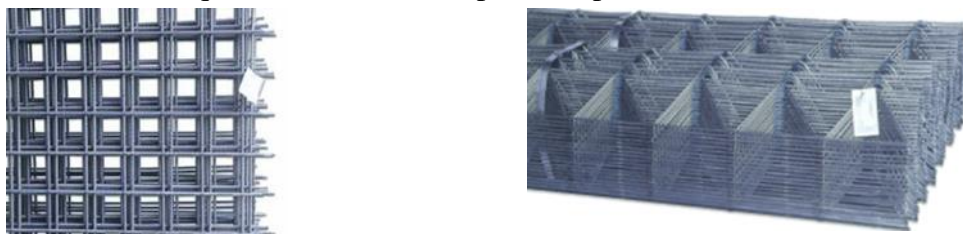
- Barras rectas o rollos de acero corrugado soldable.
- Alambres de acero corrugado o grafilado soldable.
- Alambres lisos de acero soldable.



Barras rectas de acero corrugado Rollos de acero corrugado Alambres corrugados, grafilados o lisos

Figura 1. Productos de acero para la obtención de armaduras pasivas

Se entiende por armaduras normalizadas las mallas electrosoldadas o las armaduras básicas electrosoldadas en celosía, que estudiaremos en apartados posteriores de este tema.



Mallas electrosoldadas Armadura básica electrosoldada en celosía

Figura 2. Armaduras normalizadas

Se entiende por armadura elaborada, cada una de las formas o disposiciones de elementos que resultan de aplicar, en su caso, los procesos de enderezado, de corte y de doblado a partir de acero corrugado o, en su caso, a partir de mallas electrosoldadas.

Se entiende por ferralla armada, el resultado de aplicar a las armaduras elaboradas el proceso de armado, bien mediante atado por alambre o mediante soldadura no resistente.

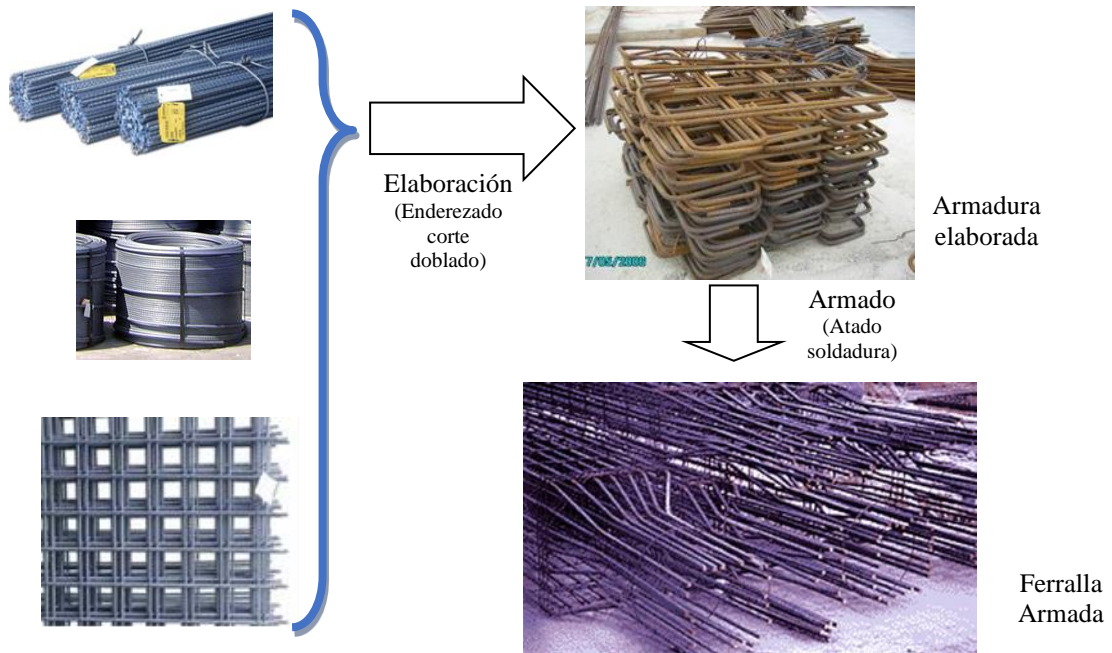


Figura 3. Obtención de la armadura elaborada y ferralla armada (ferrallado)
 Se entiende por Armadura Pasiva al resultado de montar en el molde o encofrado las armaduras normalizadas, armaduras elaboradas o ferrallas armadas, que tienen una función estructural. Al proceso de colocación de la armadura pasiva en el encofrado se conoce como montaje.

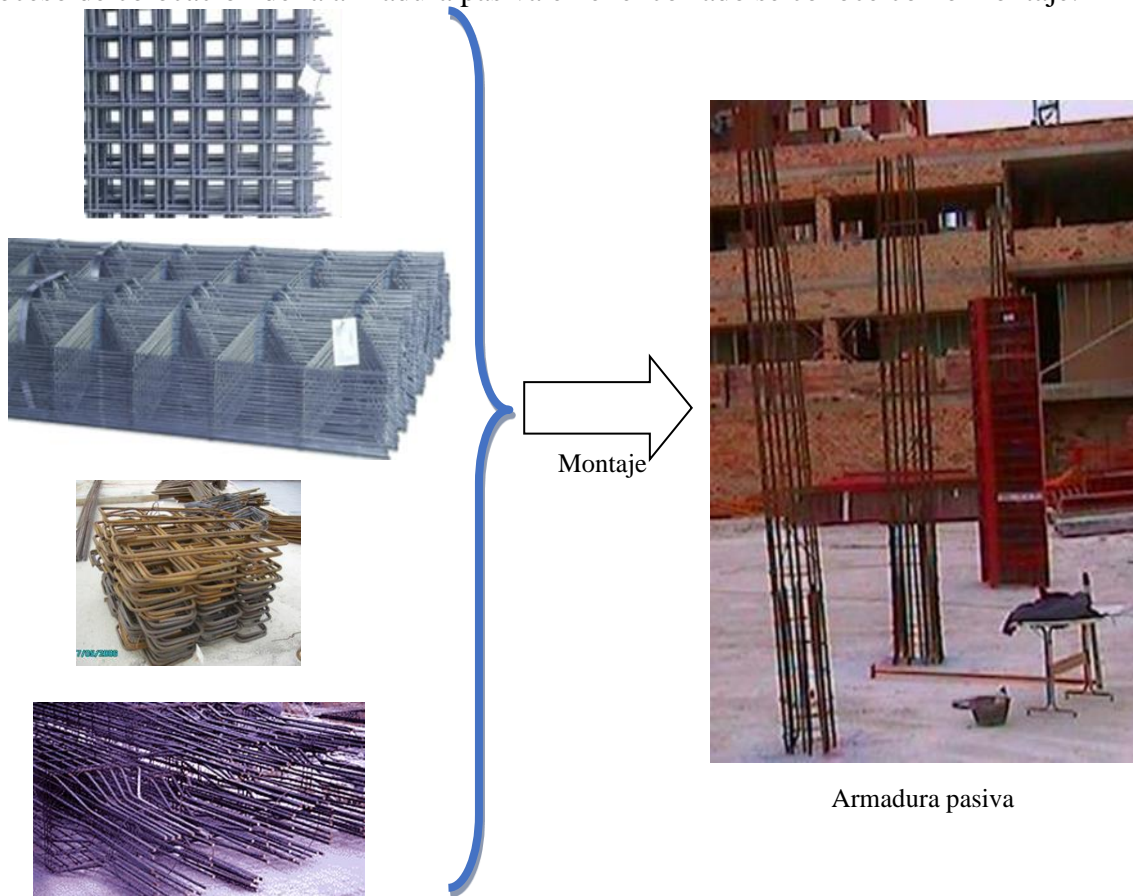


Figura 4. Obtención de la armadura pasiva

Los diámetros nominales¹ de las armaduras se ajustarán a las series que se indican en la Tabla 1.

Barras corrugadas □	6-8-10-12-14-16-20-25-32-40
Alambres corrugados en mallas electrosoldadas □	4-4,5-5-5,5-6-6,5-7-7,5-8-8,5-9-9,5-10-10,5-11-11,5-12-14 i
Alambres, lisos o corrugados, en armaduras básicas electrosoldadas en celosía	4-4,5-5-6-7-8-9-10-12 i
<input type="checkbox"/> Los diámetros que componen la serie recomendada tienen la ventaja de que pueden diferenciarse unos de otros a simple vista. Además la sección de cada uno de ellos (con la excepción del Ø14) equivale aproximadamente a la suma de las secciones de los dos redondos inmediatamente precedentes, lo que facilita las distintas combinaciones de empleo <input type="checkbox"/> Se recomienda el empleo de la serie de diámetros subrayados. <input type="checkbox"/> Las mallas obtenidas con estos diámetros no podrán tenerse en cuenta para la comprobación de los estados límites últimos, quedando limitado su uso al reparto y control de la fisuración superficial en elementos como soleras y pavimentos ligeros, losas de reparto, vendaje de pilares, armaduras de piel, etc. <input type="checkbox"/> Estos diámetros únicamente están permitidos en el caso de los forjados unidireccionales de hormigón.	

Tabla 1. Diámetros nominales [mm]

De un modo general se recomienda utilizar en obra el menor número posible de diámetros distintos y que estos diámetros se diferencien al máximo entre sí.

La determinación de la sección real de una barra corrugada no es inmediata debido a los resaltes o corrugas. Se utiliza entonces el concepto de **sección equivalente**² expresada en cm², definida como:

$$S = 127,389 \frac{\text{Masa}}{\ell}$$

donde:

- S: área de la sección, en mm², con tres cifras significativas
- Masa: masa de la probeta, en Kg
- ℓ: longitud de la probeta, en m

y donde se ha considerado como masa específica del acero el valor 7.850 Kg/m³. La sección equivalente no será inferior al 95,5% de su sección nominal.

3. BARRAS CORRUGADAS

El acero empleado en la fabricación de este tipo de barra nació de la idea de aumentar el límite elástico del acero ordinario de manera que ganase resistencia en mayor proporción de lo que aumentan los costes de producción.

El inconveniente principal es que, al aumentar la tensión de trabajo del acero, aumenta su deformación y, por tanto, se incrementa la fisuración del hormigón que lo envuelve. Lo importante a efectos de evitar la corrosión es que este incremento de fisuración se efectúe a costa del número de fisuras y no de su ancho, que es lo peligroso, y esto se consigue mejorando la adherencia de las barras de acero mediante un proceso de estriado de su superficie (corrugado).



Figura 5. Barras rectas de acero corrugado

La elevación del límite elástico del acero se puede conseguir por tres procedimientos:

- ✓ Mediante una adecuada composición química del acero.
- ✓ Mediante tratamientos térmicos posteriores a la laminación.

¹ Se entiende por **diámetro nominal** de una barra o alambre corrugado, el número convencional que define el círculo respecto al cual se establecen las tolerancias. El área del mencionado círculo es la **sección nominal** de la barra o alambre.

² El diámetro del círculo cuya área sea igual a la sección equivalente se denomina **diámetro equivalente**.

✓ Mediante tratamientos físicos posteriores a la laminación.

En el primer caso se añaden pequeñas cantidades de elementos químicos, generalmente manganeso, silicio, vanadio y niobio. La fabricación se realiza en hornos eléctricos utilizando un espectrómetro para controlar la composición química. Se obtienen así los llamados **aceros de dureza natural**, que se laminan en caliente igual que los ordinarios, pero imprimiéndoles en los cilindros de laminación unos resaltos que mejoran su adherencia. En el segundo caso, tras la laminación, se da al acero un tratamiento en equipos especiales colocados en la parte final del tren de laminación; el tratamiento es equivalente a un temple más un revenido. En el tercer caso se estiran en frío barras de acero ordinario, o de acero de dureza natural. Con ello se consigue una elevación de las características resistentes (límite elástico y tensión de rotura) y una disminución de las plásticas (alargamiento y aptitud de doblado). Se obtienen así los denominados **aceros estirados en frío**.

La diferencia entre los diferentes aceros se pone de manifiesto en el diagrama tensión-deformación. Los aceros de dureza natural conservan el escalón de cedencia, tanto más corto cuanto más resistentes son, los endurecidos en frío pierden dicho escalón mostrando un diagrama curvilíneo continuamente creciente hasta la rotura. Por ello no puede hablarse en este caso de límite elástico aparente, adoptándose como límite elástico convencional la tensión que produce una deformación remanente del 0,2 por 100.

En las Figura 6 y Figura 7 se muestran los diagramas tensión-deformación de los dos tipos de acero.

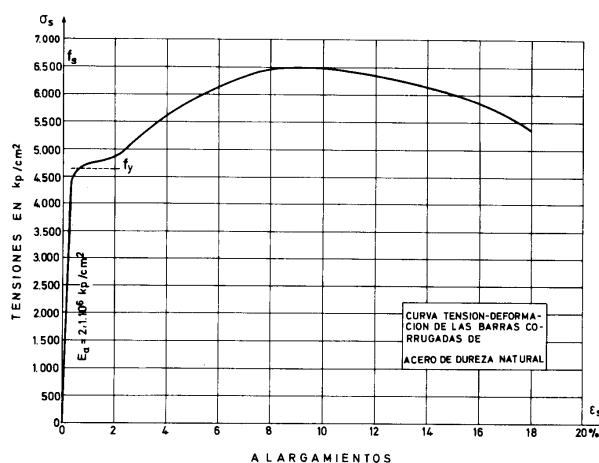


Figura 6. Curva tensión-deformación de una barra corrugada de acero de dureza natural

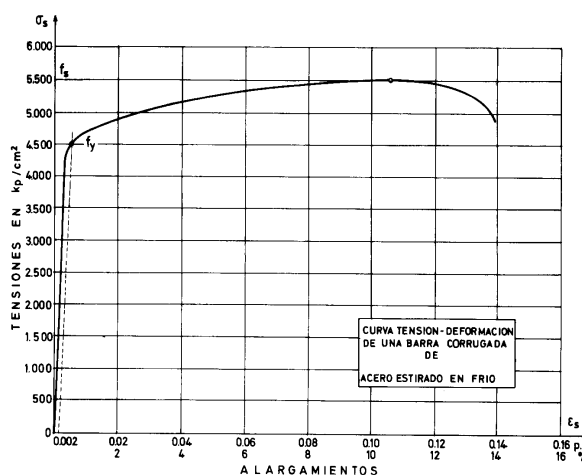


Figura 7. Curva tensión-deformación de una barra corrugada de acero estirado en frío

Se podrán emplear barras o rollos de acero corrugado soldable que sean conformes con la norma UNE-EN 10080:2006 “UNE-EN 10080:2006 Acero para el armado del hormigón. Acero soldable para armaduras de hormigón armado. Generalidades” UNE-EN 10080:2006.

En la Figura 8 se muestra la geometría que presenta una barra corrugada junto con los parámetros que definen el corrugado.

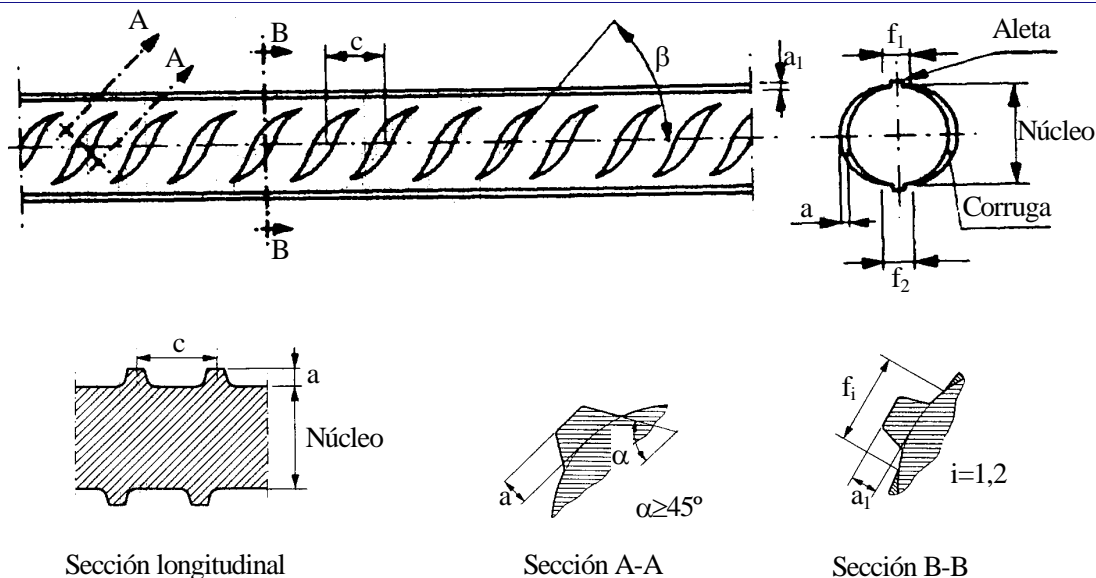


Figura 8. Geometría de una barra corrugada

3.1 Tipos de aceros

La EHE permite el empleo de dos tipos de aceros:

B 400 S (designación antigua AEH 400 S)

B 500 S (designación antigua AEH 500 S)

donde la letra B indica el tipo de acero (acero para hormigón armado), el número el límite elástico en MPa ($1\text{MPa} \approx 10\text{Kp/cm}^2$) y la letra S el carácter soldable del acero.

Además, para aquellas estructuras que se puedan encontrar sometidas a acciones sísmicas, según su emplazamiento (ver mapa de peligrosidad sísmica en la Figura 9), la instrucción EHE recomienda (Anejo nº12) el empleo de aceros con características especiales de ductilidad, según la norma UNE 36068:2011/UNE 36065:2011 “Barras corrugadas de acero soldable con características especiales de ductilidad para armaduras de hormigón armado”. El objetivo de este empleo es el de garantizar un comportamiento dúctil elevado de la estructura. Estos aceros se designan como B 400 SD y B 500 SD, donde la letra D indica características especiales de ductilidad.

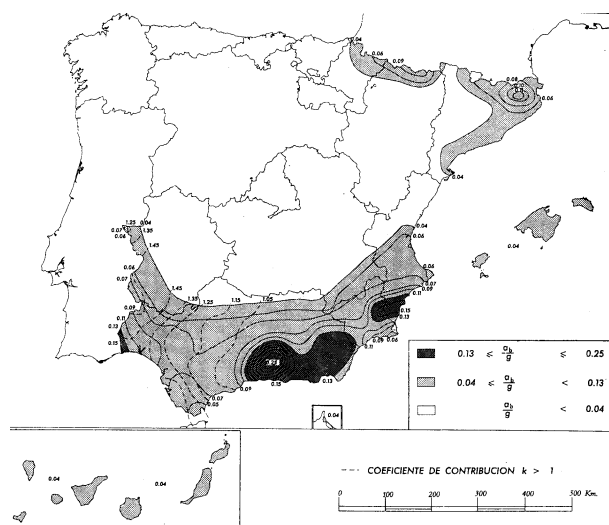


Figura 9. Mapa de peligrosidad sísmica, que establece los emplazamientos de las estructuras para los cuales hay que considerar la acción sísmica actuando sobre la estructura.

En la Figura 10 se indica finalmente la forma de la corruga para los cuatro tipos de aceros permitidos en la actualidad:

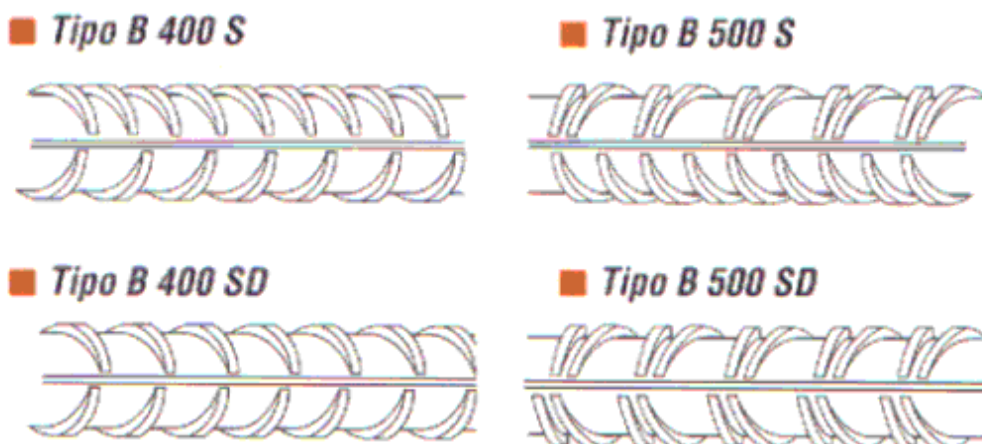


Figura 10. Forma de la corruga para los distintos tipos de aceros

3.2 Requisitos técnicos.

Los requisitos técnicos que se les exigen a las barras corrugadas están:

- Las características mecánicas mínimas garantizadas por el fabricante que aparecen en la Tabla 2 (Tabla 34.2.a del Código Estructural).

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) ❶		≥ 400	≥ 500	≥ 400	≥ 500
Carga unitaria de rotura, f_s (N/mm ²) ❶		≥ 440	≥ 550	≥ 480	≥ 575
Alargamiento de rotura, $\epsilon_{u,5}$ (%)		≥ 14	≥ 12	≥ 20	≥ 16
Alargamiento total bajo carga máxima, $\epsilon_{máx}$ (%)	acero suministrado en barra	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 7,5	≥ 7,5
	acero suministrado en rollo ❸	≥ 7,5	≥ 7,5	≥ 10,0	≥ 10,0
Relación f_s/f_y ❷		≥ 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 $f_y \text{ real}/f_y \text{ nominal}$		--	--	≤ 1,20	≤ 1,25

❶ Para el cálculo de los valores unitarios se utilizará la sección nominal.
 ❷ Relación admisible entre la carga unitaria de rotura y el límite elástico obtenidos en cada ensayo.
 ❸ En el caso de aceros corrugados procedentes de suministros en rollo, los resultados pueden verse afectados por el método de preparación de la muestra para su ensayo, que deberá hacerse conforme a lo indicado en el Anejo 23 EHE-08 / Anejo 11 Código Estructural. Considerando la incertidumbre que puede conllevar dicho procedimiento, pueden aceptarse aceros que presenten valores característicos de $\epsilon_{máx}$ que sean inferiores en un 0,5% a los que recoge la tabla para estos casos.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de las barras corrugadas

- Presentar en el ensayo de adherencia por flexión descrito en la norma UNE 36740:98, una tensión media de adherencia τ_{bm} y una tensión de rotura de adherencia τ_{bu} que cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Diámetros inferiores a 8 mm.:	$\tau_{bm} \geq 6,88$
	$\tau_{bu} \geq 11,22$
Diámetros de 8 mm a 32 mm. ambos inclusive:	$\tau_{bm} \geq 7,84 - 0,12\varnothing$
	$\tau_{bu} \geq 12,74 - 0,19\varnothing$
Diámetros superiores a 32 mm.:	$\tau_{bm} \geq 4,00$
	$\tau_{bu} \geq 6,66$

donde τ_{bm} y τ_{bu} se expresan en N/mm² y \varnothing en mm.

Las características de adherencia serán objeto de certificación específica por algún organismo oficialmente acreditado. En este certificado se consignarán obligatoriamente los límites admisibles de variación de las características geométricas de los resaltes.

- Ausencia de grietas después del ensayo de doblado-desdoblado o ensayo de doblado simple
- Llevar grabadas las marcas de identificación relativas a su tipo y marca del fabricante.
 - Identificación del acero:
 - Aceros B 400 S: Las corrugas de cada uno de los dos sectores opuestos presentarán diferente separación y todas las corrugas tendrán la misma inclinación (Figura 12).

Aceros B 500 S: Las corrugas de un sector presentan una misma inclinación y están uniformemente separadas. Las corrugas del sector opuesto están agrupadas en dos series de corrugas, de igual separación pero distinta inclinación (Figura 12).

□ Identificación del fabricante:

La identificación del fabricante se realiza mediante el engrosamiento de ciertas corrugas en uno de los sectores de la barra. En el caso del acero B 500 S se utilizará el sector con corrugas de igual inclinación. El comienzo de la identificación se indica mediante una corruga normal entre dos engrosadas. Las siguientes corrugas hasta la aparición de una nueva corruga engrosada indican el código del país (7 en el caso de España y Portugal) y las siguientes el código del fabricante (estos códigos se encuentran en el informe técnico UNE 36 811:98).

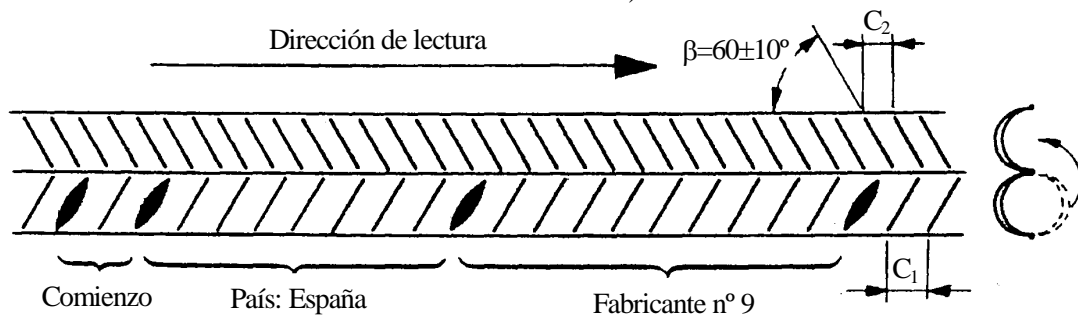


Figura 12. Identificación del acero B 400 S

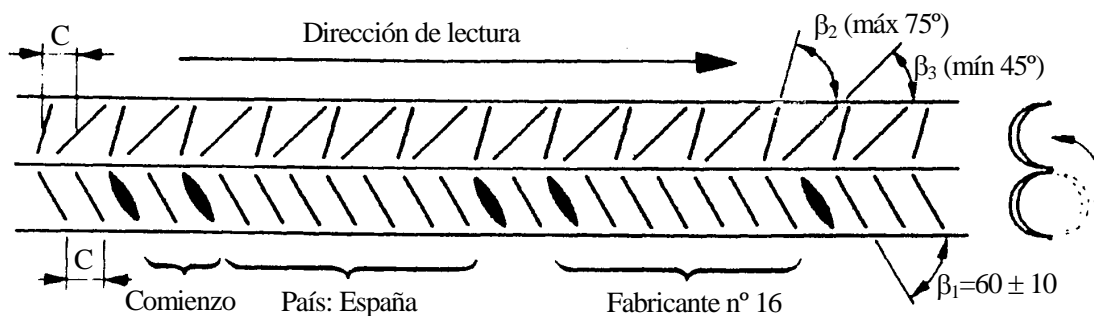


Figura 12. Identificación del acero B 500 S

3.3 Designación

Se compone de los siguientes símbolos:

1. El símbolo Ø.
2. El diámetro nominal, expresado en mm, según la serie:
6-8-10-12-14-16-20-25-32-40
3. La letra B, indicativa del tipo de acero.
4. Un número de tres cifras que indica el valor del límite elástico nominal garantizado, expresado en Mpa (400 ó 500).
5. La letra S que indica la condición de soldable.
6. Referencia a la norma UNE-EN 10080:2006

Ejemplo: Barra corrugada de 12 mm de diámetro nominal, con un límite elástico de 400Mpa: Ø12 B 400 S UNE 36068:94.

3.4 Suministro

Con carácter general se suministran en trozos rectos (ver Figura 13), aunque bajo pedido se pueden suministrar en rollos. En este último caso hay que tener en cuenta que tras el enderezado

se pueden presentar alteraciones importantes en las características geométricas, que no deben impedir que el producto enderezado cumpla las especificaciones de la Norma.

Aunque no se encuentra normalizado, los trozos rectos se acostumbra a suministrar con una longitud fija de 12 m.



Figura 13. Acopio de armaduras corrugadas en obra y almacén.

4. MALLAS ELECTROSOLDADAS

Se denominan mallas electrosoldadas al producto formado por dos sistemas de elementos (barras corrugadas³ o alambres corrugados^{4,5}) que se cruzan entre sí perpendicularmente y cuyos puntos de contacto están unidos mediante soldadura eléctrica por un proceso de producción en serie en instalación fija, conforme a la norma UNE-EN 10080:2006 “Acero para el armado del hormigón. Acero soldable para armaduras de hormigón armado. Generalidades”.



Figura 14. Acopio de mallas electrosoldadas en obra

Atendiendo a los elementos longitudinales⁶ se distingue (ver Figura 15):

- ❑ Mallas simples: el sistema longitudinal está constituido por una serie de elementos individuales.
- ❑ Mallas dobles: el sistema longitudinal está constituido por parejas de elementos tangentes.

En la Figura 15 se muestra la geometría de estas mallas, así como los parámetros que la definen.

³ En la actualidad las únicas barras de acero que están permitidas son las corrugadas. Hasta la aparición de la EHE-98 se permitía el empleo de barras lisas, aunque en la práctica dejaron de utilizarse hace ya bastantes años.

⁴ En las estructuras de hormigón armado no está permitida la utilización de alambres de forma aislada, únicamente como elementos pertenecientes a mallas electrosoldadas o a armaduras básicas electrosoldadas en celosía, como veremos en el siguiente apartado. En ambos casos solo están permitidos los alambres corrugados, con la excepción de los elementos de conexión en celosía que pueden ser tanto corrugados como lisos (es éste el único empleo posible de los alambres lisos en las estructuras de hormigón armado, no así en las de pretensado).

⁵ Los alambres se laminan en frío a diferencia de las barras que se laminan en caliente.

⁶ Cuando las mallas no son cuadradas se define como elementos longitudinales a los de mayor longitud.

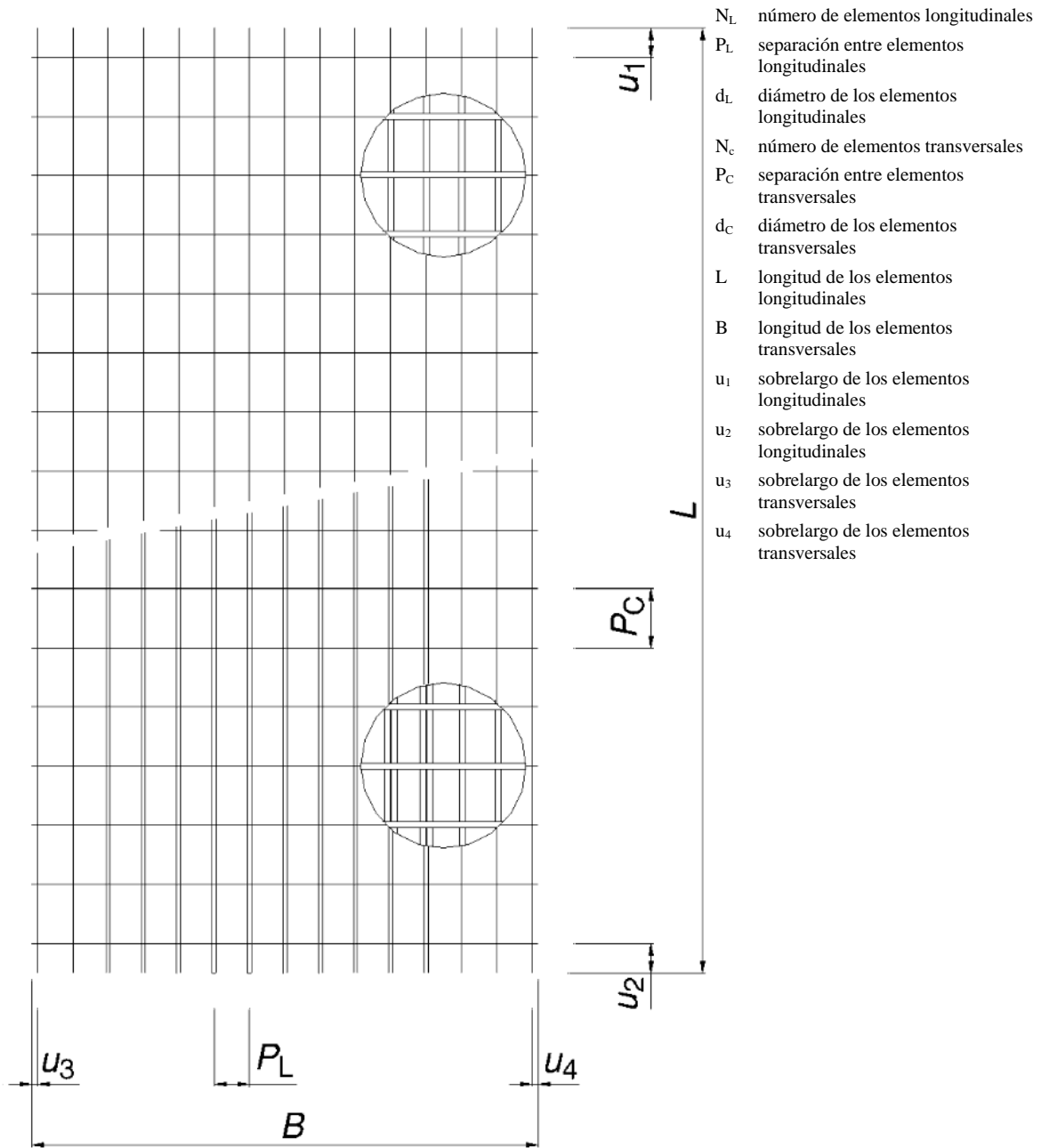


Figura 15. Geometría de las mallas

En la Figura 16 se muestra la geometría de las corrugas para el caso de alambres corrugados y en la Figura 17 la geometría de las grafilas para el caso de alambres grafilados.

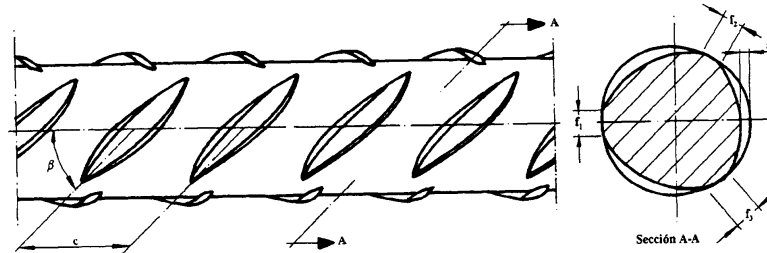


Figura 16. Geometría de las corrugas en los alambres corrugados

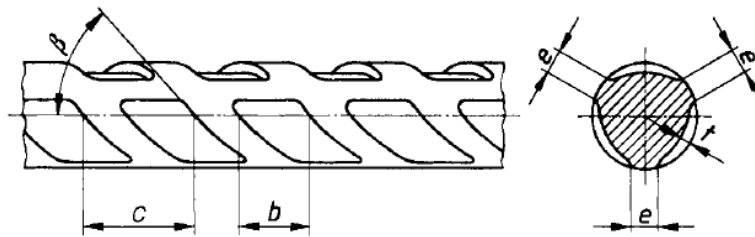


Figura 17. Geometría de las grafilas en los alambres grafilados

El empleo de mallas electrosoldadas está especialmente indicado en losas, forjados, depósitos, muros, zapatas, etc. y en general, en elementos superficiales que requieren armaduras repartidas de pequeño diámetro.

4.1 Requisitos técnicos

Cuando se utilicen barras corrugadas éstas cumplirán lo dispuesto en el apartado anterior, mientras que si se emplean alambres corrugados o grafilados cumplirán los siguientes requisitos:

- Las condiciones de adherencias especificadas para las barras corrugadas (al igual que para aquellas las condiciones de adherencia serán objeto de certificación).
- Las características mecánicas mínimas garantizadas por el fabricante que aparecen en la Tabla 3 (Tabla 34.3 del Código Estructural).

Designación		Ensayo de tracción □				Ensayo de doblado-desdoblado α = 90° □ β = 20° □ Diámetro de mandril D'
Nueva	Antigua	Límite elástico f_y en N/mm ² □	Carga unitaria de rotura f_s en N/mm ² □	Alargamiento de rotura en % sobre base de 5 diámetro	Relación f_s/f_y	
B500T	AEH-500T	500	550	8 □	1.03 □	8 d □

□ Valores característicos inferiores garantizados.
 □ Para la determinación del límite elástico y la carga unitaria se utilizará como divisor de las cargas el valor nominal del área de la sección transversal.
 □ Además, debe cumplirse: $A\% \geq 20 - 0,02f_{yi}$
 donde: A: Alargamiento de rotura
 f_{yi} : Límite elástico medido en cada ensayo
 □ Además, debe cumplirse: $\frac{f_{si}}{f_{yi}} \geq 1,05 - 0,1 \left(\frac{f_{yi}}{f_{yk}} - 1 \right)$
 donde: f_{yi} : Límite elástico medido en cada ensayo
 f_{si} : Carga unitaria obtenida en cada ensayo
 f_{yk} : Límite elástico garantizado
 □ α: Ángulo de doblado
 □ β: Ángulo de desdoblado
 □ d: Diámetro nominal del alambre

Tabla 3. Características mecánicas garantizadas de los alambres corrugados/grafilados (y lisos⁷)

4.2 Designación

Las mallas electrosoldadas se designarán de la siguiente forma:

$$ME P_L \times P_C \varnothing d_L - d_C L \times B \quad u_1/u_2 - u_3/u_4 - P_A \text{ Acero UNE-EN 10080}$$

donde:

- (1) Las letras ME distintivas del producto

⁷ Como veremos en el siguiente apartado que hace referencia a las armaduras básicas electrosoldadas en celosía, los alambres lisos deben cumplir también estas características mecánicas mínimas.

- (2) Las separaciones P_L y P_C (separación de elementos longitudinales y transversales respectivamente) expresadas en centímetros y unidas por el signo x.
- (3) El símbolo \varnothing seguido de los diámetros d_L y d_C (diámetros de los elementos longitudinales y transversales respectivamente) separados por un guión, expresados en milímetros. En las mallas dobles d_L irá seguido de la letra D.
- (4) La longitud L y anchura B del panel expresadas en metros y unidas por el signo x.
- (5) Los sobrelargos indicando los salientes en ambos extremos en sentido longitudinal u_1 / u_2 y transversal u_3 / u_4 y, en su caso, longitud de la zona de ahorro P_A (zona de la malla en la que se modifica su estructura para no duplicar la sección resistente una vez efectuado el solapado de paneles en obra), separados por un guion y expresados en milímetros.
- (6) La designación del tipo de acero. La letra B, indicativa del tipo de acero (acero para hormigón armado), seguida de un número de tres cifras que indica el valor del límite elástico nominal del acero, expresado en MPa, y una letra indicativa de la clase de acero empleado (S o SD si se han empleado barras corrugadas y T si se han empleado alambres corrugados)
- (7) Referencia a la Norma UNE 10080.

Ejemplo: Malla electrosoldada estándar de barras corrugados y límite elástico 500Mpa, con separación entre ejes de alambres longitudinales de 15 cm y entre ejes de los transversales de 30 cm, diámetro de los alambres longitudinales y transversales de 10 mm, longitud del panel 6 m, anchura del panel 2,20 m, sobrelargos de 75mm y 200 mm tanto longitudinales como transversales y sin zona de ahorro:

ME 200x200 \varnothing 10-10 6000x2200 100/100-200/200 B500S UNE 36061:2014 / UNE-EN 10080

Ejemplo: Malla electrosoldada de alambres corrugados de límite elástico 500 MPa, 8 mm de diámetro y 20 cm de separación, tanto longitudinal como transversal. Dimensiones del panel estándar de 6 metros por 2,2 metros, sobrelargos de 100mm en sentido longitudinal y 200 mm en sentido transversal, con zona de ahorro de 40 cm.

ME 200x200 \varnothing 8-8 6000x2200 100/100-200/200-400 B500T UNE 36092:2014 / UNE-EN 10080

4.3 Suministro

Las mallas se suministran en paneles de dimensiones tipificadas (mallas estándar) o bien en rollos cuando se trata de alambres de pequeño diámetro. Pueden suministrarse mallas especiales previo acuerdo entre el fabricante y el cliente.

Las características de las mallas estándar son las de las tablas siguientes:

Tabla 35.2.1.b Malla estándar SD

Separación entre barras (mm)		Diámetro (mm)		*Secciones (cm ² /m)		Nº barras		u ₁ (mm)	u ₂ (mm)	u ₃ (mm)	u ₄ (mm)	Masa nominal del panel	
P _L	P _C	d _L	d _C	A _L	A _C	N _L	N _C					Kg/panel	Kg/m ²
150	150	6,0	6,0	1,89	1,89	12	38	300	150	400	150	34,54	2,617
200	200	6,0	6,0	1,42	1,42	9	28	400	200	400	200	25,66	1,944
150	150	8,0	8,0	3,35	3,35	12	37	450	150	400	150	60,59	4,590
200	200	8,0	8,0	2,52	2,52	9	28	400	200	400	200	45,66	3,459
150	150	10,0	10,0	5,23	5,23	11	36	600	150	550	150	89,59	6,787
200	200	10,0	10,0	3,93	3,93	8	27	600	200	600	200	66,27	5,020
150	150	12,0	12,0	7,53	7,53	10	36	600	150	700	150	123,61	9,364
200	200	12,0	12,0	5,65	5,65	8	27	600	200	600	200	95,37	7,225
200	200	16,0	16,0	10,05	10,05	7	26	800	200	800	200	156,74	11,874

* Secciones teóricas por metro lineal correspondientes a la separación nominal entre barras (P_L; P_C)

NOTA 1 Medidas estándar de los paneles 6000 mm x 2200 mm

Tabla 35.2.1.c Malla estándar S

Separación entre barras (mm)		Diámetro (mm)		*Secciones (cm ² /m)		Nº barras		u ₁ (mm)	u ₂ (mm)	u ₃ (mm)	u ₄ (mm)	P _A (mm)	Masa nominal del panel	
P _L	P _C	d _L	d _C	A _L	A _C	N _L	N _C						Kg/panel	Kg/m ²
150	150	6,0	6,0	1,89	1,89	12	40	75	75	125	125	300	35,52	2,691
200	200	6,0	6,0	1,42	1,42	9	30	100	100	100	100	400	26,64	2,018
150	150	8,0	8,0	3,35	3,35	11	40	75	75	200	200	300	60,83	4,608
200	200	8,0	8,0	2,52	2,52	8	30	100	100	200	200	400	45,03	3,411
150	150	10,0	10,0	5,23	5,23	11	40	75	75	200	200	300	95,02	7,198
200	200	10,0	10,0	3,93	3,93	8	30	100	100	200	200	400	70,34	5,329
150	150	12,0	12,0	7,53	7,53	9	40	75	75	350	350	300	126,10	9,553
200	200	12,0	12,0	5,65	5,65	7	30	100	100	300	300	400	95,90	7,265
200	200	16,0	16,0	10,05	10,05	7	30	100	100	300	300	400	170,64	12,927

* Secciones teóricas por metro lineal correspondientes a la separación nominal entre barras (P_L; P_C)

NOTA 1 Medidas estándar de los paneles 6000 mm x 2200 mm

Tabla 35.2.1.d Malla estándar T

Separación entre barras (mm)		Diámetro (mm)		*Secciones (cm ² /m)		Nº barras		u ₁ (mm)	u ₂ (mm)	u ₃ (mm)	u ₄ (mm)	P _A (mm)	Masa nominal del panel	
P _L	P _C	d _L	d _C	A _L	A _C	N _L	N _C						Kg/panel	Kg/m ²
150	150	5,0	5,0	1,31	1,31	12	40	75	75	125	125	300	24,64	1,867
200	200	5,0	5,0	0,98	0,98	9	30	100	100	100	100	400	18,48	1,400
150	150	6,0	6,0	1,89	1,89	12	40	75	75	125	125	300	35,52	2,691
200	200	6,0	6,0	1,42	1,42	9	30	100	100	100	100	400	26,64	2,018
150	150	8,0	8,0	3,35	3,35	11	40	75	75	200	200	300	60,83	4,608
200	200	8,0	8,0	2,52	2,52	8	30	100	100	200	200	400	45,03	3,411
150	150	10,0	10,0	5,23	5,23	11	40	75	75	200	200	300	95,02	7,198
200	200	10,0	10,0	3,93	3,93	8	30	100	100	200	200	400	70,34	5,329
150	150	12,0	12,0	7,53	7,53	9	40	75	75	350	350	300	126,10	9,553
200	200	12,0	12,0	5,65	5,65	7	30	100	100	300	300	400	95,90	7,265
200	200	16,0	16,0	10,05	10,05	7	30	100	100	300	300	400	170,64	12,927
200	300	5,0	5,0	0,98	0,65	9	20	150	150	100	100	400	15,09	1,143
150	300	5,0	5,0	1,31	0,65	12	20	150	150	125	125	300	17,86	1,353
150	300	6,0	6,0	1,89	0,94	12	20	150	150	125	125	300	25,75	1,951
150	300	8,0	8,0	3,35	1,68	11	20	150	150	200	200	300	43,45	3,292

* Secciones teóricas por metro lineal correspondientes a la separación nominal entre barras (P_L; P_C)

NOTA 1 Medidas estándar de los paneles 6000 mm x 2200 mm

5. ARMADURAS BÁSICAS ELECTROSOLDADAS EN CELOSÍA

Se trata de una tipología de armadura relativamente nueva, cuyo empleo ha sido aceptado a partir de la edición de la Instrucción de 1998 (EHE-98).

La armadura básica electrosoldada en celosía es un producto formado por un sistema de elementos (barras o alambres), con una estructura espacial y cuyos puntos de contacto están unidos mediante soldadura eléctrica por un proceso automático.

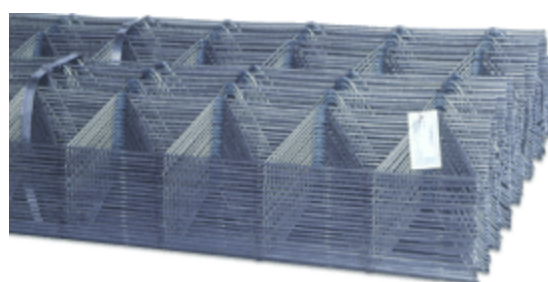


Figura 18. Armadura básica electrosoldada en celosía

Se compone de un elemento longitudinal superior, dos elementos longitudinales inferiores y dos elementos transversales de conexión que forman la celosía. Todos los elementos están constituidos por barras o alambres, que deben ser corrugados en el caso de los elementos superior e inferiores, y pueden ser lisos o corrugados en el caso de los elementos de conexión.

Se utilizan para:

- La fabricación de elementos prefabricados (semiviguetas, prelosas...)
- El armado de nervios “in situ” de forjados unidireccionales
- La separación o apoyo de las armaduras superior de las losas.

5.1 Requisitos técnicos

Los elementos formados por barras o alambres corrugados/grafilados cumplirán lo especificado en los apartados anteriores, y los alambres lisos las mismas características mecánicas que se les exige a los alambres corrugados/grafilados en la Tabla 4-1.

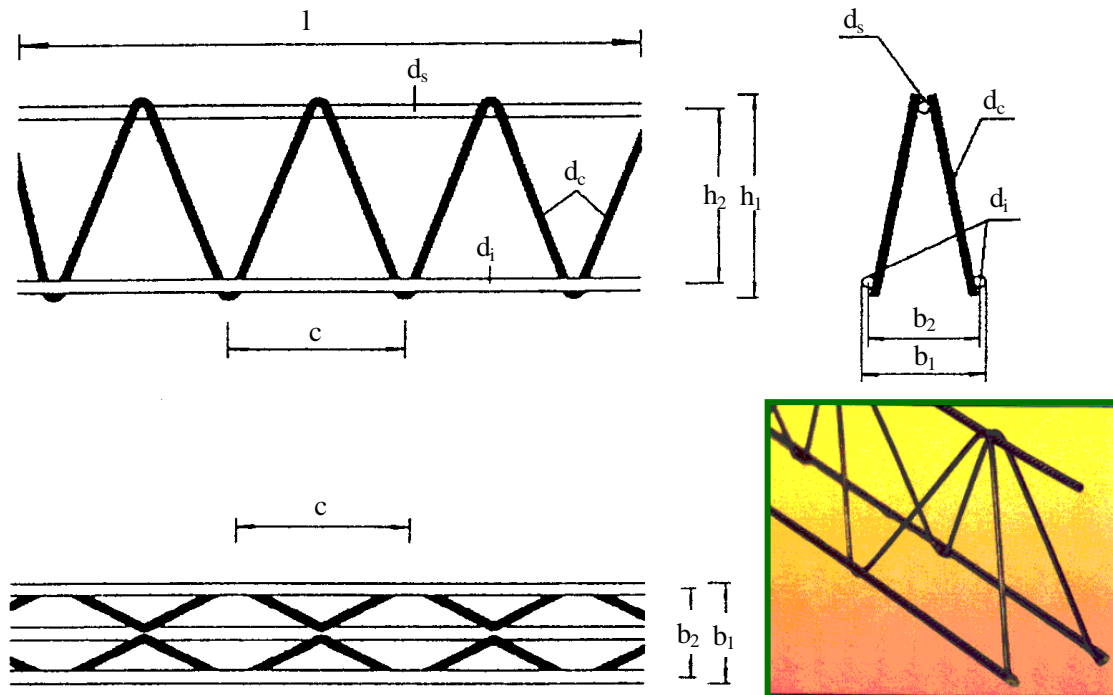


Figura 19. Esquema de una armadura básica electrosoldada en celosía.

5.2 Designación:

Se designan por los siguientes conceptos:

- a) Designación del tipo de armadura básica, compuesta por los siguientes símbolos:
 - ✓ Las letras AB distintivas del producto
 - ✓ Anchura total de la base (b_1) y altura total (h_1), expresadas en mm y unidas por el signo \times
 - ✓ Paso de celosía (c), expresado en mm, precedido del signo /
 - ✓ Diámetro del elemento longitudinal superior (d_s), expresado en mm
 - ✓ Número de barras o alambres y diámetro de los elementos de la celosía (d_c) expresado en mm
 - ✓ El símbolo L, en el caso de que los elementos de la celosía sean alambres lisos
 - ✓ Número de barras o alambres y diámetro de los elementos longitudinales inferiores (d_i), expresado en mm.
- b) Longitud de la armadura básica (l), expresada en m
- c) Designación del tipo de acero
 - ✓ B 500 T para los alambres corrugados o lisos
 - ✓ B 500 S, B 400 S, B 500 SD ó B 400 SD para las barras corrugadas
- d) Designación de la Norma UNE 10080, con indicación expresa del año de edición

Ejemplo: Armadura básica de 12 m de longitud, 9 cm de anchura total de base y 17 cm de altura total, constituida por un alambre corrugado B 500 T de 6 mm de diámetro como elemento superior, dos alambres trefilados lisos B 500 T de 5 mm de diámetro como elemento de conexión (celosía) con un paso de 20 cm y dos alambres corrugados B 500 T de 6 mm de diámetro como elementos inferiores:

AB EN 10080 90x170/200 Ø6 2Ø5 L 2Ø6 12000 B 500T- B 500T- B 500T

5.3 Suministro

En general se suministran con unas dimensiones tipificadas (armadura básica estándar), aunque previo acuerdo entre el fabricante y el cliente pueden suministrarse armaduras básicas de longitud o con características geométricas diferentes de las consideradas estándar.

Altura total h_1 [mm]	Anchura total b_1 [mm]	Paso de la celosía c [mm]	Diámetros y número de elementos $\varnothing d_s-n_c \varnothing d_c-n_i \varnothing d_i$ [mm]	Longitud l [m]	Masa nominal por metro lineal [kg]
100	90	200	$\varnothing 6-2 \varnothing 5-2 \varnothing 6$ $\varnothing 7-2 \varnothing 5-2 \varnothing 6$ $\varnothing 8-2 \varnothing 5-2 \varnothing 8$	12	1,12 1,20 1,64
120	"	"	"	"	1,17 1,25 1,69
150	"	"	"	"	1,24 1,32 1,76
170	"	"	"	"	1,29 1,37 1,81
200	"	"	"	"	1,37 1,45 1,89
230	"	"	"	"	1,45 1,53 1,97
250	"	"	"	"	1,51 1,59 2,03

Tabla 4. Características de las armaduras básicas estándar (UNE 36739:96 EX)

6. DISPOSICIÓN GENERAL DE ARMADURAS

6.1 Distancia entre barras

Las distintas barras que constituyen las armaduras de las piezas de hormigón armado, han de colocarse de forma que la separación entre ellas permita la colocación y compactación del hormigón fresco sin que se produzcan coqueas y todas las barras queden perfectamente envueltas por el hormigón. La Normativa española establece los siguientes valores:

- a. La distancia horizontal, dH , y vertical, dV , libre entre dos barras aisladas consecutivas [Artículo 69.4.1, EHE] será igual o superior al mayor de los tres valores siguientes:
 - Dos centímetros
 - El diámetro de la mayor
 - 1,25 veces el tamaño máximo del árido
- b. En forjados, vigas y elementos similares, se podrán colocar hasta tres barras de la armadura principal en contacto, una sobre otra. Este conjunto de armaduras en contacto se denomina grupo de barras.
- c. En soportes y otros elementos comprimidos y hormigonados en posición vertical se podrán colocar hasta cuatro barras de la armadura principal en contacto, siempre que no sean necesarios empalmes.

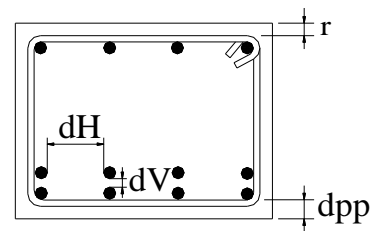


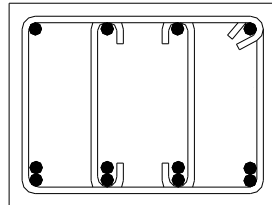
Figura 20. Disposición de armaduras

Tanto en este caso como en el anterior se recomienda que los grupos de barras vayan bien sujetos por estribos o armaduras transversales análogas.

- d. En los casos b) y c), a efectos de recubrimiento y distancias libres respecto a armaduras vecinas, se considerará como diámetro de cada grupo de barras el de la sección circular de área equivalente a la suma de las áreas de las barras que lo constituyen, no mayor de 50 mm en el caso b), y 70 mm en el c).

Vigas, forjados y similares

Hasta 3 barras



Soportes o elementos verticales

Hasta 4 barras

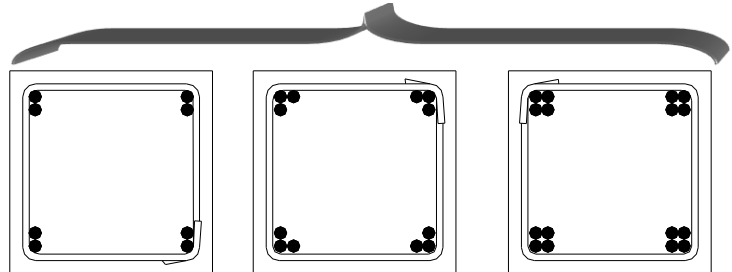


Figura 21. Disposición de grupos de barras.

6.2 Distancias a los paramentos

Se denomina **recubrimiento** (geométrico) de una barra a la distancia libre entre su superficie y el paramento más próximo de la pieza. El objeto del recubrimiento es proteger las armaduras, tanto de la corrosión como de la posible acción del fuego. Las limitaciones establecidas por la Norma española son las siguientes:

- a) En armaduras principales, la distancia libre entre la superficie lateral de una barra y el paramento más próximo de la pieza, d_{pp}^8 , será igual o superior al diámetro de la barra o diámetro equivalente si se trata de grupos de barra, y al 0,8 del tamaño máximo del árido, salvo que la disposición de la armadura respecto a los paramentos dificulte el paso del hormigón, en cuyo caso se tomará 1,25 veces el tamaño máximo del árido.
- b) Para cualquier tipo de armadura (incluso estribos), el recubrimiento, r , no será inferior a los valores de la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7, en función de la clase de exposición ambiental, el tipo de cemento, la resistencia característica del hormigón y la vida útil de la estructura.

⁸ d_{pp} : distancia a los paramentos de la armadura principal.

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm ²]	Vida útil de proyecto (t _g), [años]	
			50	100
X0	Cualquiera	f _{ck} ≥ 25	15	25
XC1, XC2 ó XC3	CEM I	25 ≤ f _{ck} < 40	15	25
		f _{ck} ≥ 40	10	20
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	25 ≤ f _{ck} < 40	20	30
		f _{ck} ≥ 40	15	25
XC4	CEM I	25 ≤ f _{ck} < 40	20	30
		f _{ck} ≥ 40	15	25
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	25 ≤ f _{ck} < 40	25	35
		f _{ck} ≥ 40	20	30

Tabla 5: Recubrimiento mínimo para la degradación por corrosión por carbonatación, r_{mín} [mm]

Hormigón	Cemento	Vida útil de proyecto (t _g) (años)	Clase general de exposición			
			XS1	XS2	XS3	XD1, XD2, XD3
Armado	CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D, CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, u hormigón con adición de microsílíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	50	25	30	35	35
		100	30	35	40	40
	Resto de cementos utilizables	50	45	40	❶	❶
		100	65	❶	❶	❶
Pretensado	CEM II/A-D o bien con adición de humo de sílice superior al 6%	50	30	35	40	40
		100	35	40	45	45
	Resto de cementos utilizables, según el Artículo 26º	50	65	45	❶	❶
		100	❶	❶	❶	❶

❶ Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos, desaconsejables desde el punto de vista de la ejecución del elemento. En estos casos, se recomienda comprobar el Estado Límite de Durabilidad según lo indicado en el Anejo nº 9, a partir de las características del hormigón prescrito en el Pliego de prescripciones técnicas del proyecto.

Tabla 6. Recubrimiento mínimo para la degradación por corrosión por cloruros, r_{mín} [mm]

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm ²]	Vida útil de proyecto (t _g), (años)	
			50	100
XF1, XF3	CEM III	25 ≤ f _{ck} < 40	25	50
		f _{ck} ≥ 40	15	25
	Otros tipos de cemento	25 ≤ f _{ck} < 40	20	35
		f _{ck} ≥ 40	10	20
XF2, XF4	CEM II/A-D	25 ≤ f _{ck} < 40	25	50
		f _{ck} ≥ 40	15	35
	CEM III	25 ≤ f _{ck} < 40	40	75
		f _{ck} ≥ 40	20	40
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	25 ≤ f _{ck} < 40	20	40
		f _{ck} ≥ 40	10	20
XA1	CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D, CEM III, CEM IV u hormigón con adición de microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	-	40	55
	Resto de cementos utilizables	-	❶	❶
XA2, XA3	Cualquiera	-	❸	❸

❶ Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos
 ❷ Estos valores corresponden a condiciones moderadamente duras de abrasión. En el caso de que se prevea una fuerte abrasión, será necesario realizar un estudio detallado.
 ❸ El Autor del proyecto deberá fijar estos valores de recubrimiento mínimo y, en su caso, medidas adicionales, al objeto de que se garantice adecuadamente la protección del hormigón y de las armaduras frente a la agresión química concreta de que se trate.

Tabla 7. Recubrimiento mínimo para otros riesgos de degradación distintos de la corrosión, r_{mín} [mm]

En el caso de la clase de exposición XM los recubrimientos mínimos serán los obtenidos de la aplicación del resto de criterios (mecánicos o de durabilidad) más un sobre espesor de acuerdo con lo indicado en la Tabla 8:

Clase de exposición	Sobreespesor del recubrimiento [mm]
XM1	5
XM2	10
XM3	15

Tabla 8. Sobreespesor de recubrimiento para la clase de exposición XM (Erosión)

Para garantizar estos valores se prescribirá en el proyecto un valor nominal en el proyecto r_{nom} que valdrá:

$$r_{nom} = r_{mín} + \Delta r$$

donde:

r_{nom}: Recubrimiento nominal

r_{mín}: Recubrimiento mínimo

Δr: Margen del recubrimiento que viene dado por:

- ❑ 0 mm: elementos prefabricados con control intenso de ejecución⁹
- ❑ 5 mm: elementos in situ con nivel intenso de ejecución
- ❑ 10 mm: en el resto de casos

⁹ La EHE establece tres posibilidades para el nivel de control de ejecución: Intenso, Normal y Reducido.

- c) La distancia libre de los paramentos a las barras dobladas no será inferior a dos diámetros, medida en dirección perpendicular al plano de la curva.
- d) El valor máximo admisible para el recubrimiento de la capa exterior de armaduras es de cinco centímetros. Si es necesario disponer un mayor recubrimiento y salvo casos especiales de ambientes agresivos (por ejemplo cimentaciones hormigonadas sobre el terreno), debe colocarse una malla fina de reparto (de sección A_s) en medio del espesor del recubrimiento en la zona de tracción (ver Figura 22) con una cuantía geométrica

$$\frac{A_s}{A_r} \text{ que será:}$$

- ◊ 0,005 para barras o grupos de barras de diámetro (o diámetro equivalente) igual o inferior a 32 mm
 - ◊ 0,010 para barras o grupos de barras de diámetro (o diámetro equivalente) superior a 32 mm.
- e) En piezas hormigonadas contra el terreno el recubrimiento mínimo será de 70 mm, salvo que se haya preparado el terreno y dispuesto hormigón de limpieza, en cuyo caso serán de aplicación los valores de la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7. En este caso no se tendrá en cuenta lo indicado en el apartado d.

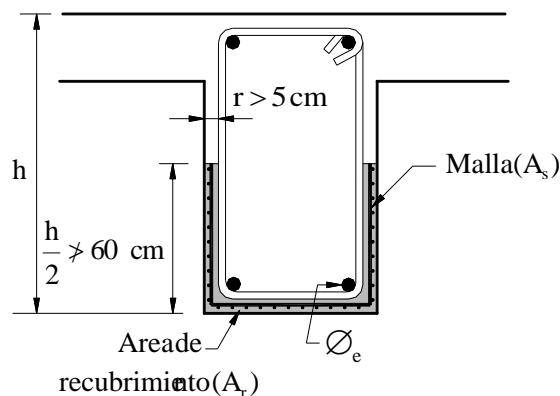


Figura 22.

Los recubrimientos son mantenidos mediante el empleo de separadores [Artículo 43.4.2 Código Estructural]. En la Figura 23. Separadores se muestran algunos tipos y su forma de empleo, que deberán disponerse de acuerdo con las prescripciones de la Tabla 9. Disposición de separadores.

Elemento		Distancia máxima
Elementos superficiales horizontales (losas, forjados, zapatas y losas de cimentación, etc.)	Emparrillado inferior	$50 \varnothing \leq 100 \text{ cm}$
	Emparrillado superior	$50 \varnothing \leq 50 \text{ cm}$
Muros	Cada emparrillado	$50 \varnothing \leq 50 \text{ cm}$
	Separación entre emparrillados	100 cm
Vigas ¹⁾		100 cm
Soportes ¹⁾		$100 \varnothing \leq 200 \text{ cm}$
1) Se dispondrán, al menos, tres planos de separadores por vano, en el caso de las vigas, y por tramo, en el caso de los soportes, acoplados a los cercos o estribos. \varnothing Diámetro de la armadura a la que se acople el separador.		

Tabla 9. Disposición de separadores

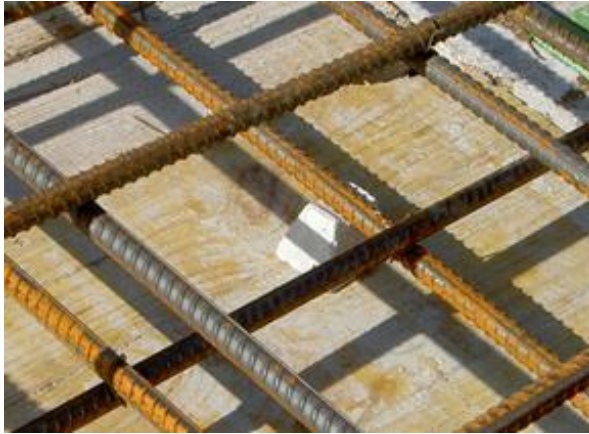


Figura 23. Separadores

En la Figura 24 se muestra una pequeña clasificación de los separadores.

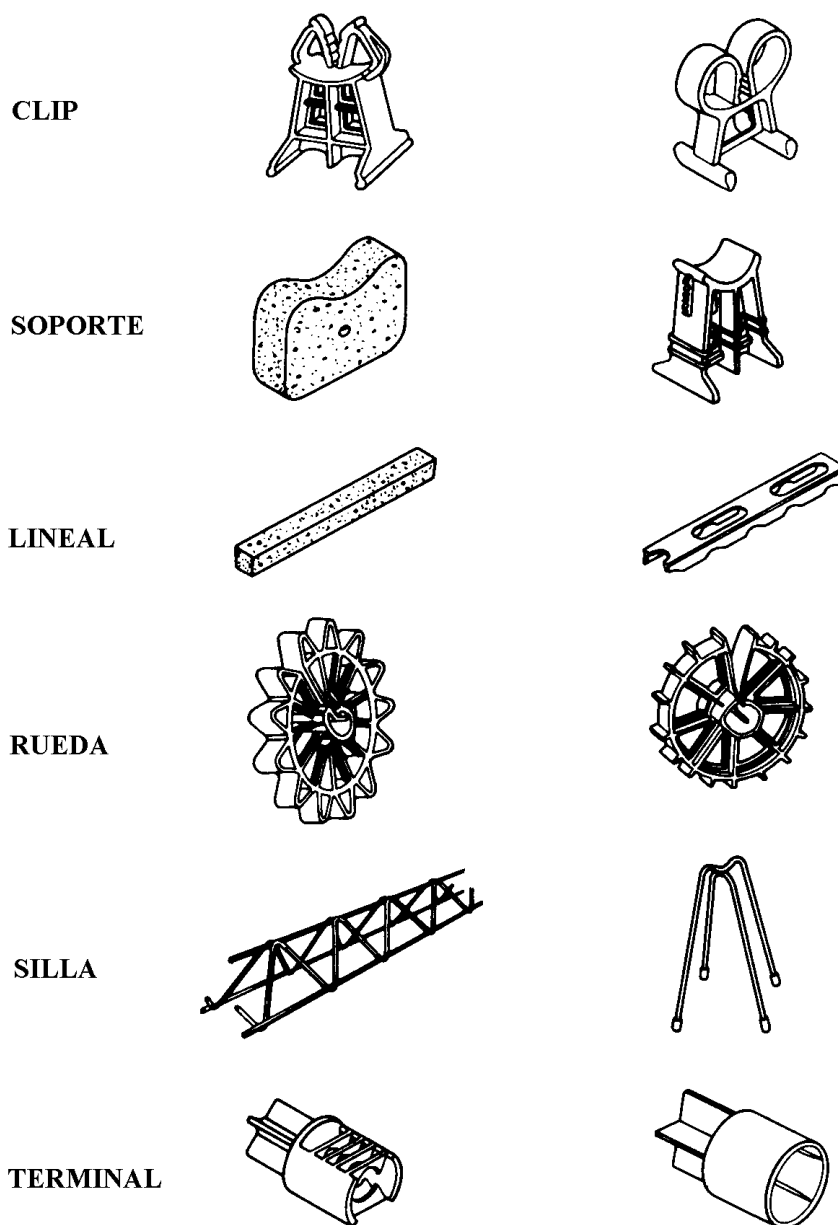


Figura 24. Clasificación de los separadores más frecuentes en las estructuras de hormigón.

Es importante subrayar, como hace el Código Estructural, que los separadores (piezas que han de estar específicamente diseñadas para su fin) han de cumplir una función no sólo geométrica, sino que han de garantizar la protección de las armaduras, y no han de suponer un punto vulnerable del hormigón. Por lo tanto, soluciones como las de las Figura 25 no son correctas.



Figura 25. Uso inadecuado de separadores

6.3 Patologías por incumplimiento de recubrimientos y distancias entre armaduras

En las Figura 26 se muestran patologías habituales por incumplimiento de los recubrimientos y las distancias entre armaduras.



Figura 26a. Patologías por incumplimiento de recubrimientos



Figura 27b. Patologías por incumplimiento de distancias entre armaduras

BIBLIOGRAFÍA:

- ❑ EHE-08. Instrucción de Hormigón Estructural. Ministerio de Fomento
- ❑ Código Estructural. Ministerio de Fomento
- ❑ “Hormigón armado”. Pedro Jiménez Montoya & Álvaro García Meseguer & Francisco Morán Cabré; Gustavo Gili.
- ❑ UNE-EN 10080:2006. “Acero para el armado del hormigón. Acero soldable para armaduras de hormigón armado. Generalidades”. Aenor.
- ❑ UNE 36065:2011. “Barras corrugadas de acero soldable con características especiales de ductilidad para armaduras de hormigón armado”. Aenor.
- ❑ UNE 36068:2011. “Barras corrugadas de acero soldable para armaduras de hormigón armado”. Aenor.
- ❑ UNE 36060:2014. “Mallas electrosoldadas de acero para uso estructural en armaduras de hormigón armado. Mallas electrosoldadas fabricadas con barras de acero B 500 SD”. Aenor
- ❑ UNE 36061:2014. “Mallas electrosoldadas de acero para uso estructural en armaduras de hormigón armado. Mallas electrosoldadas fabricadas con barras de acero B 500 S”. Aenor
- ❑ UNE 36092:2014. “Mallas electrosoldadas de acero para uso estructural en armaduras de hormigón armado. Mallas electrosoldadas fabricadas con alambres de acero B 500 T”. Aenor
- ❑ UNE 36099:1996. “Alambres corrugados de acero para armaduras de hormigón armado”. Aenor
- ❑ UNE 36731:1996. “Alambres lisos de acero para mallas electrosoldadas y para armaduras básicas para viguetas armadas”. Aenor
- ❑ UNE 36739:1995 EX. “Armaduras básicas de acero electrosoldadas en celosía para armaduras de hormigón armado”. Aenor
- ❑ UNE-EN ISO 15630-1:2019. “Aceros para el armado y el pretensado del hormigón. Métodos de ensayo. Parte 1: Barras, alambres y alambrón para hormigón armado”.
- ❑ UNE-EN ISO 15630-2:2019. "Aceros para el armado y el pretensado del hormigón. Métodos de ensayo. Parte 2: Mallas electrosoldadas y armaduras básicas"