

INDICE

1- Introducción. (Objeto del proyecto)

2- Acero para armaduras pasivas.

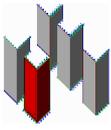
- 2.1- Breve descripción de la elaboración del acero.
- 2.2- La ductilidad y la adherencia.
- 2.3- Barras y rollos de acero corrugado soldable.
- 2.3- Alambres corrugados y alambres lisos.
- 2.5- Identificación y designación de los aceros para armaduras pasivas.

3- Armaduras pasivas.

- 3.1- Armaduras normalizadas.
 - 3.1.1- Mallas electrosoldadas.
 - 3.1.2- Armaduras básicas electrosoldadas en celosía.
- 3.2- Armaduras elaboradas.
- 3.3- Ferralla armada.

4- Procesos de elaboración de la ferralla en taller.

- 4.1- Introducción. Definiciones.
- 4.2- Instalaciones de ferralla.
 - 4.2.1- Almacenamiento y gestión de acopios.
 - 4.2.2- Control de producción.
- 4.3- Despiece.
- 4.4- Proceso de Corte.
 - 4.4.1- Maquinaria.
 - 4.4.2- Criterios para el proceso de corte.
 - 4.4.3- Control de producción.
- 4.5- Proceso de doblado.



4.5.1- Maquinaria.

4.5.2- Criterios para el proceso de corte.

4.5.3-Control de producción.

4.6- Proceso de enderezado. Elaboración de cercos y estribos.

4.6.1- Maquinaria.

4.6.2- Criterios para el proceso de corte.

4.6.3-Control de producción.

4.7- Proceso de pre-armado.

5- Armado de la ferralla.

5.1- Tipos de armado.

5.1.1- Armado manual.

5.1.2- Soldadura no resistente.

5.2- Reglas para el atado.

5.3- Distancia entre barras de armaduras pasivas.

5.3.1- Barras aisladas.

5.3.2- Grupos de barras.

5.4- Criterios para el anclaje y empalme de las armaduras pasivas.

5.4.1- Anclaje de las armaduras pasivas.

5.4.2- Empalme de las armaduras pasivas.

5.5- Uniones soldadas.

5.5.1- Clases de uniones soldadas.

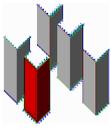
5.5.2- Tipos de uniones soldadas.

5.5.3- Validación del proceso de soldadura.

5.6- Optimización de costes. Formas preferentes de armado.

6- Control.

6.1- La trazabilidad.



6.2- Definiciones generales relacionadas con el control.

6.3- Principios generales del control.

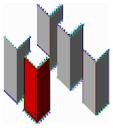
6.4- Control de conformidad de los productos. Control de recepción.

6.4.1- Control documental.

6.4.2- Control de las características de los productos

7- Conclusiones

Bibliografía



1- INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO.

Se entiende por ferralla, a la transformación del acero para la fabricación de armaduras pasivas, que cumpliendo con un proyecto de obra, se utilizan para el armado del hormigón.

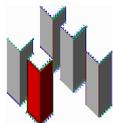
Tradicionalmente se ha empleado el término ferralla, ferrallado o elaboración de la ferralla, para designar a las armaduras elaboradas a pie de obra de forma manual o artesanal. En la actualidad la ferralla se fabrica, normalmente, en instalaciones industriales fijas (ferralla industrial) y se transporta a obra para su montaje. No obstante, la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08, distingue entre la ferralla elaborada en instalación industrial fija y la elaborada a pie de obra.

El objeto de este Proyecto Final de Carrera, es el estudio de los sistemas de elaboración de la ferralla armada en instalaciones industriales fijas (talleres de ferralla), desde que el hierro entra en taller hasta que se suministra a obra, estudiando todo el proceso de elaboración: corte, doblado, enderezado, estribado, pre-armado, armado manual y soldadura.

Se ha incluido también el estudio de la maquinaria utilizada en los talleres de ferralla, el control de producción y el control final de las armaduras, dado al desarrollo experimentado por las instalaciones de ferralla, con una extraordinaria mecanización y automatización de los procesos, que se ha visto reflejado en la Instrucción EHE-08, en la que se han incluido por primera vez una serie de artículos que regulan sus características y funcionamiento.

Se han analizado y estudiado los artículos de la EHE-08 que corresponden al proceso de elaboración y montaje de la Ferralla, y las normas UNE que hacen referencia a dicho proceso.

Aunque la Instrucción EHE-08, sigue manteniendo los mismos principios básicos que sus predecesoras, ha introducido un nuevo enfoque en el tratamiento y uso de los aceros, definiendo de forma mucho más precisa su elaboración en instalaciones de ferralla pertenecientes o ajenas a la obra.



2- ACEROS PARA ARMADURAS PASIVAS.

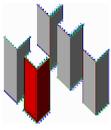
Los productos de acero que pueden emplearse para la elaboración de armaduras pasivas son:

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

Los alambres corrugados o grafilados, sólo se podrán emplear para la elaboración de armaduras normalizadas (mallas electrosoldadas y armaduras básicas en celosía), no pudiéndose utilizar de forma individual para la confección de cercos y estribos, o como armadura principal de un elemento estructural. Los alambres lisos se utilizarán exclusivamente, como elementos de conexión de armaduras básicas electrosoldadas en celosía.

| Producto de acero para hormigón. | Armadura pasiva | | | |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|---|--|
| | Ferralla armada | Mallas soldadas | Armadura básica electrosoldada en celosía | Elementos de conexión en armaduras básicas |
| Barras corrugadas | X | X | X | - |
| Rollos corrugados | X | X | X | - |
| Alambres corrugados | - | X | X | X |
| Alambres grafilados | - | X | X | X |
| Alambres lisos | - | - | - | X |

Tabla 1. Aceros para armaduras pasivas.



2.1-Breve descripción del proceso de elaboración del acero.

El acero se puede obtener a partir de mineral (ciclo integral) en instalaciones que disponen de Altos Hornos, o partiendo de chatarras férricas (ciclo electrosiderúrgico) en Hornos eléctricos, el caso más común actualmente y que se va a introducir brevemente.

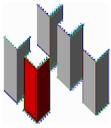
Las chatarras seleccionadas, contenidas en la cesta de carga se introducen en el horno eléctrico por su parte superior, en unión de agentes reactivos y escorificantes, desplazando la bóveda giratoria del mismo. Se funde la chatarra de una o varias cargas por medio de corriente eléctrica hasta completar la capacidad del horno. Este acero, es el que va a constituir una colada. Se analiza el baño fundido y se procede a un primer afinado para eliminar impurezas, haciendo el primer ajuste de la composición química por adición de ferroaleaciones que contienen los elementos necesarios.

El acero líquido obtenido se vuelca en un recipiente, revestido de material refractario, denominado cuchara de colada. Este recipiente hace de cuba de un segundo horno de afinado (horno cuchara) en el que se termina de purificar el acero, se ajusta su composición química y se calienta a la temperatura adecuada.

La cuchara, se lleva sobre una máquina de colada continua, en cuya artesa receptora vierte (cuela) el acero fundido por el orificio del fondo o buza. La artesa lo distribuye en varias líneas, cada una con su molde o lingotera, en donde se enfría de forma controlada para formar palanquillas, que son los semiproductos de sección cuadrada que se someterán a las operaciones de forja y conformación subsiguientes.

Esta forja se realiza por medio de cilindros giratorios en instalaciones específicas (trenes de laminación) previo paso por un horno de recalentamiento que proporcione a las palanquillas la temperatura adecuada. Los trenes los forman, parejas o tríos de cilindros, dispuestos en soportes o cajas de laminación, entre los que pasan las palanquillas reduciendo su sección y adquiriendo su forma definitiva.

Una gran placa de enfriamiento recibe al producto ya conformado (en algunos casos después de recibir un tratamiento térmico) y lo traslada a las líneas de corte o medida y empaquetado. De ahí pasa a las naves de almacenamiento.



2.2- La ductilidad y la adherencia.

Se podría definir la ductilidad, como la capacidad que tiene un cuerpo para deformarse.

En el caso de los materiales metálicos, la ductilidad, se define como la capacidad de admitir grandes deformaciones mecánicas en frío sin llegar a romperse.

Cuando se entra en el campo del hormigón armado, la definición del concepto de ductilidad se va complicando por la propia naturaleza del mismo, compuesto por dos materiales absolutamente distintos, el hormigón (frágil) y las armaduras de acero (dúctiles).

Existen distintas formas de conseguir que una estructura sea dúctil. Cada una de ellas puede emplearse de forma individual, o en conjunto. Algunas de ellas son:

- La concepción adecuada de la estructura.
- Consiguiendo que cada una de las secciones que constituyen la estructura sea dúctil.
- El empleo de materiales dúctiles.

En el caso de las estructuras de hormigón esta exigencia de ductilidad que el hormigón no es capaz de cubrir, tiene que satisfacerla el acero. Esto se consigue por dos vías:

- Disponiendo las armaduras en cantidad y forma adecuadas y/o
- Utilizando aceros con la ductilidad suficiente.

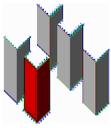
La primera solución es muchas veces imposible de aplicar en la práctica por diversas razones:

- Por tratarse de soluciones, en ocasiones antieconómicas.
- Por no disponer de las dimensiones adecuadas en el elemento estructural (Con el paso del tiempo el canto de los forjados se ha ido reduciendo su espesor por razones estéticas)
- Por dar lugar a zonas de más difícil hormigonado, lo que exige un cuidadoso control de ejecución.

La segunda solución, es la más adecuada y eficaz, permitiendo además su combinación con la primera obteniéndose como resultado disposiciones de armado más sencillas y prácticas.

No todos los aceros presentan la misma ductilidad. Esta propiedad depende de su composición química y de los tratamientos mecánicos y térmicos a los que haya sido sometido (forja, temple y revenido). Podemos distinguir entre:

- Acero frágiles, generalmente laminados en frío (Aceros tipo T).



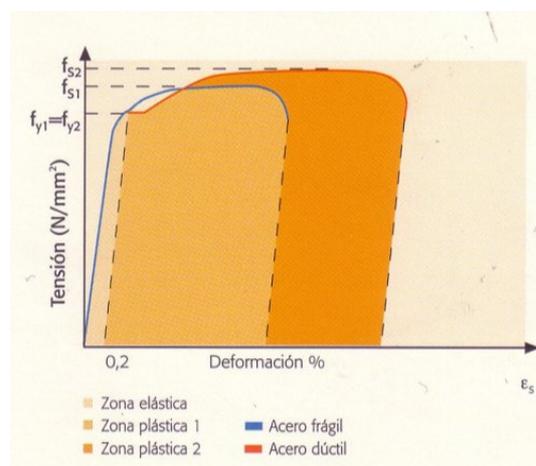
- Aceros dúctiles laminados en caliente, que se dividen en:
 - Aceros de ductilidad normal. (Tipo S)
 - Aceros de alta ductilidad. (Tipo SD)

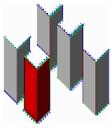
Parámetros que definen la ductilidad del acero:

El comportamiento de los aceros se caracteriza mediante un ensayo de tracción hasta alcanzar su rotura. Durante el ensayo se van midiendo las cargas que se aplican y las deformaciones (alargamientos) que se producen. Al representar estos valores en un gráfico se obtiene un diagrama tensión-deformación.

Este diagrama, tiene una forma típica para el acero en la que pueden distinguirse tres zonas claramente diferenciadas:

1. Zona elástica: Es una recta en la que la relación entre las tensiones y las deformaciones es constante (módulo de elasticidad). En esta fase, las deformaciones experimentadas por el acero desaparecen al cesar la carga, volviendo este a su estado original.
2. Escalón de cedencia: En esta zona aumentan las deformaciones del acero manteniéndose el nivel de carga constante. En esta fase se produce una reordenación interna de la estructura del acero.
3. Fase plástica: es el resto del diagrama hasta que se produce la rotura. En esta fase las deformaciones alcanzadas por el acero son irreversibles, no son recuperables aunque descarguemos la probeta.





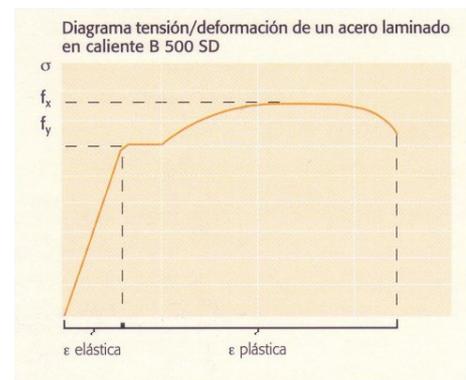
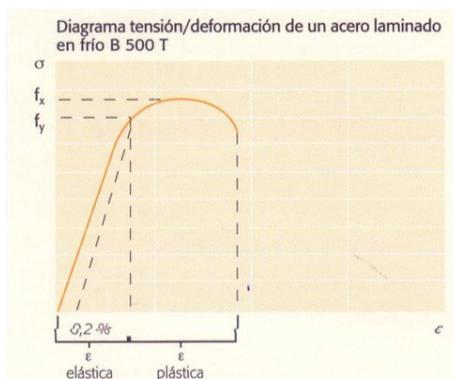
La forma del diagrama de tensión deformación, permite distinguir entre unos aceros y otros. Los aceros laminados en caliente presentan un escalón de cedencia muy bien definido, mientras que los laminados en frío (trefilados) carecen de este escalón. Además, mientras que la fase elástica es prácticamente similar en todos ellos, la fase plástica es la que presenta mayores diferencias y la que define claramente el grado de ductilidad del acero.

El grado de ductilidad de un acero, estaría asociado al área “encerrada” por su diagrama tensión-deformación, siendo mayor cuando mayor sea ésta.

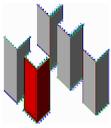
Una manera de comparar el grado de ductilidad de los acero consiste en calcular el valor de los siguientes parámetros:

- La relación entre la tensión de rotura y el límite elástico (tensión donde finaliza la fase elástica), f_s/f_y .
- El alargamiento alcanzado bajo la carga máxima de rotura, ϵ_{max} .

Cuanto mayor es el valor de la relación f_s/f_y , y de la deformación ϵ_{max} , mayor será la ductilidad del acero.



Además, las barras de acero deben presentar una buena adherencia con el hormigón, para que ambos puedan colaborar y trabajar conjuntamente. Para obtener estas características de adherencia, las barras presentan una geometría exterior especial, formada por resaltos o corrugas dispuestas con una determinada inclinación y separación. Pero no todas las geometrías son eficaces. La forma de comprobar su eficacia, se realiza a través de unos ensayos específicos de adherencia.



La importancia de la adherencia, hace que de forma obligatoria la Administración Española, exija que para poder utilizarse un acero para hormigón, éste ha debido ser ensayado de acuerdo con unas condiciones establecidas por un laboratorio acreditado.

Por tanto, el acero siempre vendrá acompañado por un Certificado de Homologación de Adherencia.

Se adjunta a continuación, un certificado de adherencia.

Número albarán: 8272LG10
 Fecha emisión: 11/05/2010
 Calidad: B 500 SD
 Diámetro: 20
 Número de coladas: 154896/1 154899/1

Cliente: FERROS LA POBLA, S.A.
 Número de pedido: 10448WLG/1
 Matrícula: R9727B5Z
 Destino: CRTA. VALENCIA - ADEMILIZ. KM 20,8 TLF. 96 1662500
 LA POBLA DE VALLBONA
 VALENCIA
 ESPAÑA

CERTIFICADO DE HOMOLOGACIÓN DE ADHERENCIA



INTEMAC

El Instituto Técnico de Materiales y Construcciones, INTEMAC,

CERTIFICA

Que ha realizado los ensayos de determinación de las características convencionales de adherencia, de acuerdo con la norma UNE 36.740:1998, sobre muestras de acero corrugado del tipo **B 500 SD**, fabricado por **MEGASA SIDERÚRGICA, S.L.**, y comercializado con la marca **MEGAFER**.

Que los resultados correspondientes se recogen en documentos de referencia E/LC-00014/EL emitidos por INTEMAC, en fechas 30.03.2000, 30.03.2000 y 22.03.2000.

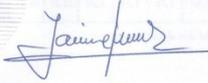
Que de acuerdo con los resultados obtenidos, procede certificar que el acero corrugado **B 500 SD** de los diámetros 6 a 40 mm ambos inclusive, de la marca comercial **MEGAFER**, fabricado por **MEGASA SIDERÚRGICA, S.L.**, cumple los requisitos del artículo 32.2 de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 en cuanto a las tensiones de adherencia, para las características geométricas del corrugado siguientes:

| Serie | Diámetro (mm) | Altura mínima de corruga (a) (mm) (1) | Separación de corrugas (2c) (mm) (2) | Perímetro sin corrugas (mm) $\Sigma \xi_i$ (3) | $\beta_1 = \beta_3$ (° sexag.) | $\beta_2 = \beta_4$ (° sexag.) |
|--------|---------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|
| Fina | 6 | 0,36 | 8,18 | 2,87 | $55 \leq \beta_1 \leq 75$ | ≥ 35 |
| | 8 | 0,47 | 10,90 | 3,83 | | |
| | 10 | 0,59 | 13,63 | 4,79 | | |
| Media | 12 | 0,66 | 15,55 | 4,94 | $55 \leq \beta_1 \leq 75$ | ≥ 40 |
| | 14 | 0,76 | 18,14 | 5,76 | | |
| | 16 | 0,87 | 20,73 | 6,58 | | |
| Gruesa | 20 | 1,09 | 25,91 | 8,23 | $55 \leq \beta_1 \leq 75$ | ≥ 45 |
| | 25 | 1,25 | 31,20 | 9,80 | | |
| | 32 | 1,60 | 39,94 | 12,54 | | |
| | 40 | 2,00 | 49,92 | 15,68 | | |

(1) Media de las cuatro series de corrugas (2) Tolerancia: de -15% a +7% (3) Tolerancia: +10%
 Las definiciones de los parámetros se ajustan a la norma UNE 36065:2000 EX

Este certificado ha sido renovado siguiendo el "Protocolo para la realización de ensayos destinados a la renovación de los Certificados de Adherencia" de fecha 2 de Abril de 2009 y referencia E/LC-09014/EL.

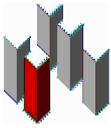
Madrid, 19 de Junio de 2009



Jaime Fernández Gómez
 Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
 Director del Laboratorio Central

El Laboratorio Central de INTEMAC está acreditado por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), según los criterios recogidos en la norma EN 45001 y en la Guía ISO 25, para la realización de ENSAYOS DE ADHERENCIA DE ARMADURAS DE ACERO BARRA HORMIGÓN, con fecha de acreditación 10/03/93 y nº 25/E.040, según consta en el CERTIFICADO DE ACREDITACIÓN nº CLE/1848 de fecha 08/11/02.

MGS-041R-A



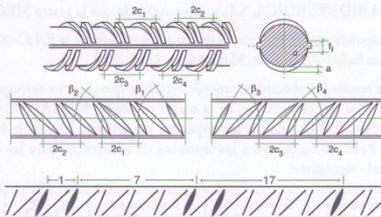
Informe de resultados de los ensayos de adherencia realizados según la norma UNE 36740:1998

Referencia E/LC-00014/EL Laboratorio de Ensayo
 Peticionario Calidad Siderúrgica Laboratorio Central de INTEMAC
 Orense, 58 - Planta 10 - 28020 Madrid C/ Bronce, 26 y 28
 28850 Torrejón de Ardoz (Madrid)

Descripción e identificación de las muestras

| DIÁMETRO ENSAYADO (mm) | 8 | 16 | 25 |
|---|-----------------------------------|---|---------------------------------------|
| Serie representada | Fina $\phi 6, \phi 8$ y $\phi 10$ | Media $\phi 12, \phi 14, \phi 16$ y $\phi 20$ | Gruesa $\phi 25, \phi 32$ y $\phi 40$ |
| Fecha de recepción de las muestras en laboratorio | 27.12.1999 | 27.12.1999 | 27.12.1999 |
| Fecha de emisión del informe de resultados | 30.03.2000 | 30.03.2000 | 22.03.2000 |

FERROS LI FONIA S. A.
 Tels. 98 276 30 07
 Fax 98 276 91 32
 Fax 98 169 14 61



La orientación a izquierdas o a derechas de las series de corrugas no modifica las características de adherencia ni el criterio de identificación del fabricante.

Resultados de los ensayos de las características convencionales de adherencia

| Diámetro (mm) | ALETAS | | CORRUGAS | | | | | | | | | | | TENSIONES DE ADHERENCIA | | | | | |
|---------------|-------------|--------------|-----------------|------|------|-------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|--------------|
| | Altura (mm) | Anchura (mm) | Altura (a) (mm) | | | | Separación (2c) (mm) | | | | Inclinación (° secvag.) | | | Perímetro sin corrugas (mm) | Tensión media T_m (MPa) | | Tensión última T_u (MPa) | | |
| ϕ | a (1) | b (1) | a' | a'' | a''' | a'''' | 2c ₁ | 2c ₂ | 2c ₃ | 2c ₄ | β_1 | β_2 | β_3 | β_4 | Σf_i | Resultado | Especif. | Resultado | Especif. |
| 8 | 0,50 | 1,60 | 0,47 | 0,45 | 0,49 | 0,46 | 10,90 | 10,90 | 10,89 | 10,89 | 65,2 | 48,0 | 67,6 | 49,6 | 3,74 | Cumple | $\geq 6,88$ | Cumple | $\geq 11,22$ |
| 16 | 0,93 | 3,18 | 0,89 | 0,86 | 0,88 | 0,86 | 20,72 | 20,72 | 20,74 | 20,74 | 65,6 | 48,2 | 66,4 | 49,2 | 6,37 | Cumple | $\geq 5,92$ | Cumple | $\geq 9,70$ |
| 25 | 1,46 | 4,64 | 1,32 | 1,25 | 1,24 | 1,20 | 31,21 | 31,21 | 31,19 | 31,19 | 65,6 | 47,6 | 65,8 | 48,0 | 9,80 | Cumple | $\geq 4,84$ | Cumple | $\geq 7,99$ |

(1) Valores medios de las aletas

Madrid, 30 de Marzo de 2000



Jorge Ley Urzaiz
Jorge Ley Urzaiz
 Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Jaime Fernández Gómez
Jaime Fernández Gómez
 Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

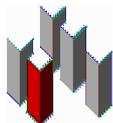


Se prohíbe la reproducción parcial de este informe. Los resultados de ensayo tienen validez únicamente en relación con las muestras ensayadas.

2.3-Barras y rollos de acero corrugado soldable.

Los diámetros nominales de las barras corrugadas serán los definidos en la serie siguiente:

6-8-10-12-14-16-20-25-32 y 40 mm.

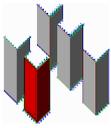


Salvo en el caso de las mallas electrosoldadas o armaduras básicas en celosía, se evitará el diámetro de 6mm cuando se aplique cualquier proceso de soldadura en la elaboración y montaje de la armadura pasiva.

| TIPO DE ACERO | | ACERO SOLDABLE | | ACERO SOLDABLE CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE DUCTILIDAD | |
|--------------------------------------|----------------|----------------|-------|---|-----------------------------|
| Designación | | B400S | B500S | B400SD | B500SD |
| Limite elástico, fy (N/mm2) | | ≥400 | ≥500 | ≥400 | ≥500 |
| Carga unitaria de rotura, Fs (N/mm2) | | ≥440 | ≥550 | ≥480 | ≥575 |
| Alargamiento de rotura | | ≥14 | ≥12 | ≥20 | ≥16 |
| Alargamiento total bajo carga máxima | Acero en barra | ≥5.0 | ≥5.0 | ≥7.5 | ≥7.5 |
| | Acero en rollo | ≥7.5 | ≥7.5 | ≥10.0 | ≥10.0 |
| Relación fs/fy | | ≥1.05 | ≥1.05 | $1.20 \leq fs/fy \leq 1.35$ | $1.15 \leq fs/fy \leq 1.35$ |
| Relación fy real / fy nominal | | - | - | ≤1.20 | ≤1.25 |

Tabla 2. Tipos de acero corrugado.

Las características mecánicas mínimas garantizadas por el suministrador, serán conformes con la tabla anterior. Además, las barras deberán tener aptitud al doblado-desdoblado, manifestada por la ausencia de grietas apreciables a simple vista al efectuar el ensayo, empleando los mandriles de la tabla siguiente.



| Doblado – Desdoblado | | | $\alpha=90^\circ$ $\beta=20^\circ$ |
|-----------------------------|------------------|----------|------------------------------------|
| $d \leq 16$ | $16 < d \leq 25$ | $d > 25$ | |
| 5d | 8d | 10d | |

Tabla 3. Diámetro de los mandriles.

D Diámetro de la barra, en mm.

α Ángulo de doblado

β Ángulo de desdoblado

Alternativamente al ensayo de aptitud al doblado-desdoblado, se podrá realizar el ensayo de doblado simple, para lo que deberán emplearse los mandriles especificados en la siguiente tabla.

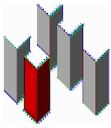
| Doblado simple | | $\alpha = 180^\circ$ |
|-----------------------|----------|----------------------|
| $d \leq 16$ | $d > 16$ | |
| 3d | 6d | |

Tabla 4. Diámetro de los mandriles para doblado simple.

d diámetro nominal de la barra, en mm.

α ángulo de doblado.

Los aceros soldables con características especiales de ductilidad (B400SD y B500SD) deberán cumplir los requisitos de las tablas siguientes, en relación con el ensayo de fatiga y con el ensayo de deformación alternativa.



| Característica. | B400SD | B500SD |
|--|--------------------------------------|--------|
| Número de ciclos que debe soportar la probeta sin romperse. | ≥ 2 millones. | |
| Tensión máxima. $\delta_{\text{máx.}} = 0.6 f_{y \text{ nominal}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$ | 240 | 300 |
| Amplitud, $2 \delta_a = \delta_{\text{máx.}} - \delta_{\text{mín.}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$ | 150 | |
| Frecuencia. $f \text{ (H}_z\text{)}$ | $1 \leq f \leq 200$ | |
| Longitud libre entre mordazas. | $\geq 14d$ $\geq 140 \text{ mm.}$ | |

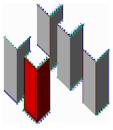
Tabla 5. Especificación del ensayo de fatiga.

d, diámetro nominal, barra en mm.

| Diámetro nominal. (mm.) | Longitud libre entre mordazas. | Deformaciones máximas de tracción y compresión. (%) | Número de ciclos completos simétricos de histéresis. | Frecuencia. $f \text{ (H}_z\text{)}$ |
|-------------------------|--------------------------------|---|--|--------------------------------------|
| $d \leq 16$ | 5d | ± 4 | 3 | $1 \leq f \leq 3$ |
| $16 < d \leq 25$ | 10d | ± 2.5 | | |
| $d > 25$ | 15d | ± 1.5 | | |

Tabla 6. Especificación del ensayo de deformación alternativa.

d, diámetro nominal, barra en mm.



Las características de adherencia del acero podrán comprobarse mediante el método general del anejo C de la UNE EN 10080 o, alternativamente, mediante la geometría de corrugas conforme a lo establecido en el método general definido en el apartado 7.4 de la UNE EN 10080.

En el caso de que la comprobación se efectuó mediante el ensayo de la viga, deberán cumplirse simultáneamente las siguientes condiciones:

- Diámetros inferiores a 8 mm:

$$\zeta_{bm} \geq 6.88$$

$$\zeta_{bu} \geq 11.22$$

- Diámetros de 8 mm a 32 mm, ambos inclusive:

$$\zeta_{bm} \geq 7.84 - 0.12\varnothing$$

$$\zeta_{bu} \geq 12.74 - 0.19 \varnothing$$

- Diámetros superiores a 32 mm:

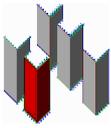
$$\zeta_{bm} \geq 4.00$$

$$\zeta_{bu} \geq 6.66$$

ζ_{bm} y ζ_{bu} se expresan en N/mm^2 y \varnothing en mm.

Hasta la entrada en vigor del marcado CE, en el caso de comprobarse las características de adherencia mediante el ensayo de la viga, los aceros serán objeto de certificación específica elaborada por un laboratorio oficial o acreditado para el ensayo. En el certificado se consignarán obligatoriamente, además de la marca comercial, los límites admisibles de variación de las características geométricas de los resaltos para el caso de suministro en forma de barra recta, con indicación expresa de que en el caso de suministros en rollo la altura de corruga deberá ser superior a la indicada en el certificado más 0,1mm en el caso de diámetros superiores a 20mm o más 0,05mm en el resto de los casos.

Por su parte, en el caso de comprobarse la adherencia por el método general, el área proyectada de las corrugas (*fr.*) o, en su caso, de las grafilas (*fp*) determinadas según UNE-EN ISO 15630-1, deberá cumplir las condiciones de la tabla siguiente.



| d (mm.) | ≤6 | 8 | 10 | 12-16 | 20-40 |
|--|---------|---------|--------|--------|--------|
| f _R o f _P (mm) en caso de barras. | ≥ 0.039 | ≥ 0.045 | ≥0.052 | ≥0.056 | ≥0.056 |
| f _R o f _P (mm) en caso de rollos. | ≥ 0.045 | ≥0.051 | ≥0.058 | ≥0.062 | ≥0.064 |

Tabla 7. Área proyectada de corrugas o grafilas.

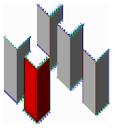
La composición química, en porcentaje en masa, del acero deberá cumplir los límites establecidos en la tabla siguiente, por razones de soldabilidad y durabilidad

| Análisis | C | S | P | N | Cu | C _{eq} |
|----------------|------|-------|-------|-------|------|-----------------|
| Sobre colada | 0.22 | 0.050 | 0.050 | 0.050 | 0.80 | 0.50 |
| Sobre producto | 0.24 | 0.055 | 0.055 | 0.014 | 0.85 | 0.52 |

Tabla 8, Composición química (porcentajes máximos en masa)



Fotografía 1. Acero suministrado en rollos.



Fotografía 2. Acero suministrado en barras.

2.4-Alambres corrugados y alambres lisos.

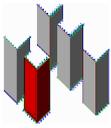
- Los alambres corrugados o grafilados son aquellos que cumplen los requisitos establecidos para la fabricación de mallas electrosoldadas o armaduras básicas electrosoldadas en celosía.

- Los alambres lisos aquellos que cumplen los requisitos establecidos para la fabricación de elementos de conexión en armaduras básicas electrosoldadas en celosía.

Los diámetros nominales de los alambres se ajustaran a la serie siguiente:

4 – 4,5 – 5 - 5,5 – 6 – 6,5 - 7 - 7,5 – 8 - 8,5 - 9 – 9,5 – 10 – 11 – 12 - 14 y 16 mm.

Se define el siguiente tipo de acero para alambres, tanto corrugados como lisos:



| Designación | Ensayo de tracción ⁽¹⁾ | | | | Ensayo de doblado-desdoblado =90° ⁽⁵⁾ =20° ⁽⁶⁾ Diámetro de mandril D´ |
|--------------|--|--|--|-------------------------|--|
| | Límite elástico f_{yr} (N/mm ²) ⁽²⁾ | Carga unitaria de rotura f_s (N/mm ²) ⁽²⁾ | Alargamiento de rotura sobre base de 5 diámetros. A (%) | Relación f_s / f_y | |
| B500T | 500 | 550 | 8 ⁽³⁾ | 1.03 ⁽⁴⁾ | 5d ⁽⁷⁾ |

Tabla 9. Tipo de acero para alambres.

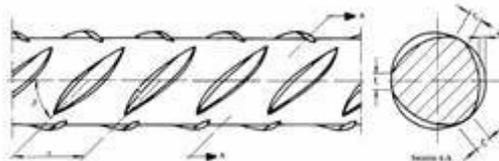
(1) Valores característicos inferiores garantizados.

(2) Para la determinación del límite elástico y la carga unitaria se utilizara como divisor de las cargas el valor nominal del área de la sección transversal.

(3) Además, deberá cumplirse: $A\% \geq 20 - 0,02 f_{yi}$

A Alargamiento de rotura.

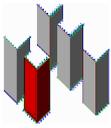
f_{yi} Límite elástico medido en cada ensayo.



Fotografía 3. Alambre corrugado.

2.5- Identificación y designación.

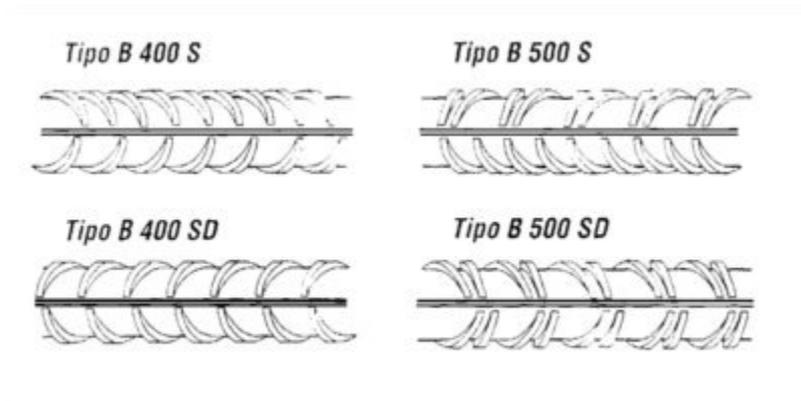
La identificación y designación de los aceros para armaduras pasivas y de las armaduras normalizadas debe hacerse conforme a lo indicado en la norma UNE-EN 10080:2006. En ambos casos, designación e identificación, ha de mencionarse la clase técnica del acero, por la que se identifica el tipo, las prestaciones y las características de este. En los aceros corrugados, el tipo de acero se identifica mediante la forma en la que se disponen las corrugas en cada uno de los sectores en los que se divide la barra. La identificación del país de origen y el fabricante, se podrá hacer de dos formas:



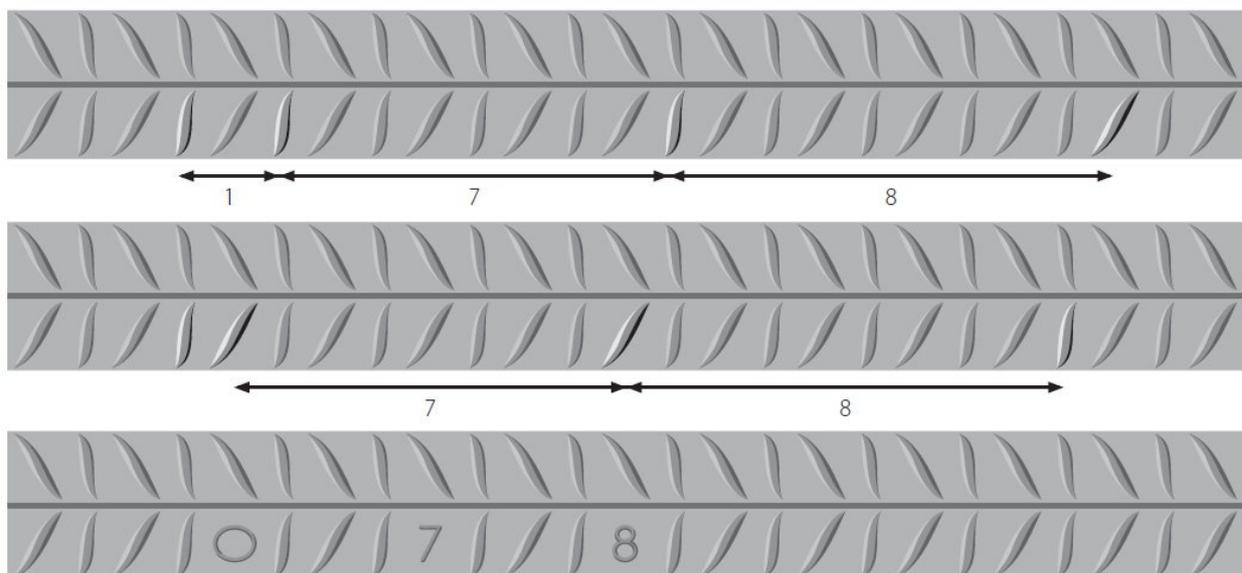
-Inicio de lectura constituido por dos corrugas regruesadas consecutivas o una corruga sencilla limitada entre dos corrugas regruesadas y país y fabricante, contabilizando las corrugas.

- Inicio de lectura constituido por una O, seguida de las cifras correspondientes al país y fabricante grabadas en la superficie de la barra.

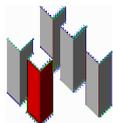
Cada partida de acero, deberá ir acompañada de la declaración del sistema de identificación empleado por el fabricante.



Fotografía 4. Tipos de aceros.



Fotografía 5. Formas de Identificación.



3- ARMADURAS PASIVAS.

Se entiende por armadura pasiva el resultado de montar en el correspondiente molde o encofrado, el conjunto de armaduras normalizadas, armaduras elaboradas o ferralla armada que, convenientemente solapadas y con los recubrimientos adecuados, tienen una función estructural.

Las características mecánicas, químicas y de adherencia de las armaduras pasivas serán las características de las armaduras normalizadas o las de la ferralla armada que las componen.

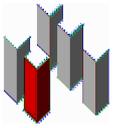
Los diámetros nominales y geometrías de las armaduras serán las definidas en el proyecto.

| Tipo de armadura | Armadura con acero de baja ductilidad | | Armadura con acero soldable de ductilidad normal | | Armadura con acero soldable y características especiales de ductilidad. | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|----------|--|-----------------------|---|-----------|
| | AP400T | AP500T | AP400S | AP500S | AP400SD | AP500SD |
| Designación | AP400T | AP500T | AP400S | AP500S | AP400SD | AP500SD |
| Alargamiento total bajo carga máxima. | | | ≥ 5.0 | ≥ 5.0 | ≥ 7.5 | ≥ 7.5 |
| Tipo de acero | | | B 400 S B 400 SD | B 500 S B 500 SD | B400SD | B500SD |
| Tipo de malla electrosoldada | ME 400 T | ME 500 T | ME 400S ME 400 SD | ME 500 S ME 400 SD | ME 400 SD | ME 500 SD |
| Tipo de armaduras básicas en celosía | AB 400 T | AB 500 T | AB 400S AB 400 SD | AB 500 S AB 500 SD | AB 400 SD | AB 500 SD |

Tabla 10. Tipos de aceros y armaduras normalizadas a emplear para las armaduras pasivas.

En el caso de estructuras sometidas a acciones sísmicas, de acuerdo con lo establecido en la reglamentación sismorresistente en vigor, se deberán emplear armaduras pasivas fabricadas a partir de acero corrugado soldable con características especiales de ductilidad (SD).

Las armaduras pasivas, pueden estar formadas por tres tipos de armaduras:



- Armaduras normalizadas.
- Armaduras elaboradas.
- Ferralla armada.

3.1- Armaduras normalizadas.

Son aquellas que se elaboran conforme a una norma de producto, y tienen unas dimensiones normalizadas. Son las mallas electrosoldadas y las armaduras básicas electrosoldadas en celosía.

3.1.1- Mallas electrosoldadas.

Una malla electrosoldada es la armadura formada por la disposición de barras corrugadas o alambres corrugados, longitudinales y transversales, de diámetro nominal igual o diferente, que se cruzan entre si perpendicularmente y cuyos puntos de contacto están unidos mediante soldadura eléctrica, realizada en un proceso de producción en serie, en instalación industrial ajena a la obra.

Las mallas electrosoldadas serán fabricadas a partir de barras corrugadas o alambres corrugados, que no se mezclaran entre si.

| | | | | | | |
|--|-----------|----------|---------|----------|----------|----------|
| Tipos de mallas electrosoldadas | ME 500 SD | ME 400SD | ME 500S | ME 400 S | ME 500 T | ME 400 T |
| Tipos de aceros | 500 SD | 400SD | 500S | 400 S | 500 T | 400 T |

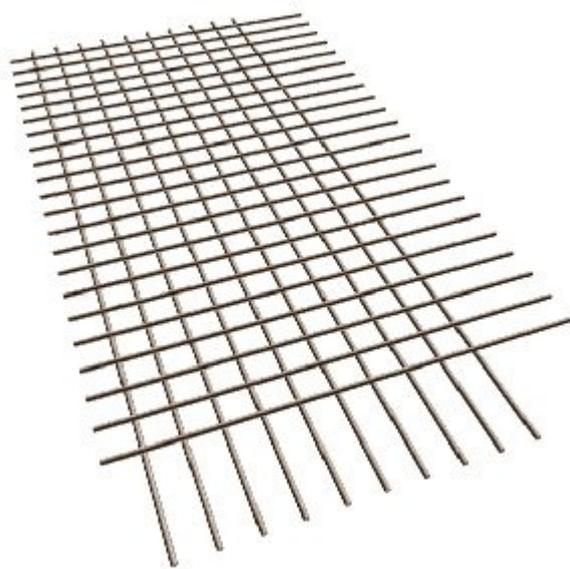
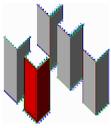
Tabla 11. Tipos de mallas electrosoldadas.

Las mallas electrosoldadas deberán cumplir que la carga de despegue (Fs) de las uniones soldadas,

$$F_s \text{ min} = 0.25 f_y \times A_n$$

f_y es el valor del límite elástico especificado

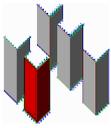
A_n es la sección transversal nominal del mayor de los elementos de la unión o de uno de los elementos pareados, según se trate de mallas electrosoldadas simples o dobles, respectivamente.



Fotografía 4-5. Malla electrosoldada.

3.1.2- Armaduras básicas electrosoldadas en celosía.

Una armadura básica electrosoldada en celosía es la estructura espacial formada por un cordón superior y uno o varios cordones inferiores, todos ellos de acero corrugado, y una serie de elementos transversales, lisos o corrugados, continuos o discontinuos y unidos a los cordones longitudinales mediante soldadura eléctrica, producida en serie en instalación industrial ajena a la obra. Los cordones longitudinales serán fabricados a partir de barras



corrugadas o alambres corrugados, mientras que los elementos transversales de conexión se elaboraran a partir de alambres lisos o corrugados.

| | | | | | | |
|--|-----------|----------|---------|----------|----------|----------|
| Tipos de armaduras básicas electrosoldadas en celosía | AB 500 SD | AB 400SD | AB 500S | AB 400 S | AB 500 T | AB 400 T |
| Tipo de acero de los cordones longitudinales | 500 SD | 400SD | 500S | 400 S | 500 T | 400 T |

Tabla 12. Tipos de armaduras básicas electrosoldadas en celosía.

Además, se cumplirá que la carga de despegue (Fw) de las uniones soldadas,

$$Fw \text{ min} = 0.25 f_{yL} \times AnL$$

$$Fw \text{ min} = 0.60 f_{yD} \times AnD$$

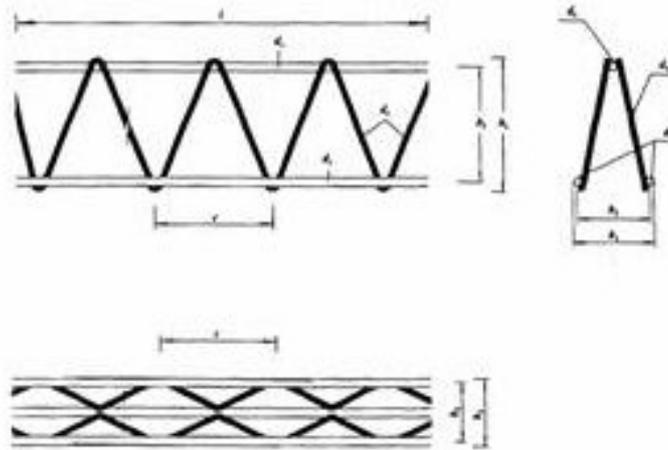
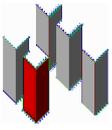
f_{yL} Valor del límite elástico especificado para los cordones longitudinales.

AnL Sección transversal nominal del cordón longitudinal.

f_{yD} Valor del límite elástico especificado para las diagonales.

AnD Sección transversal nominal de las diagonales.





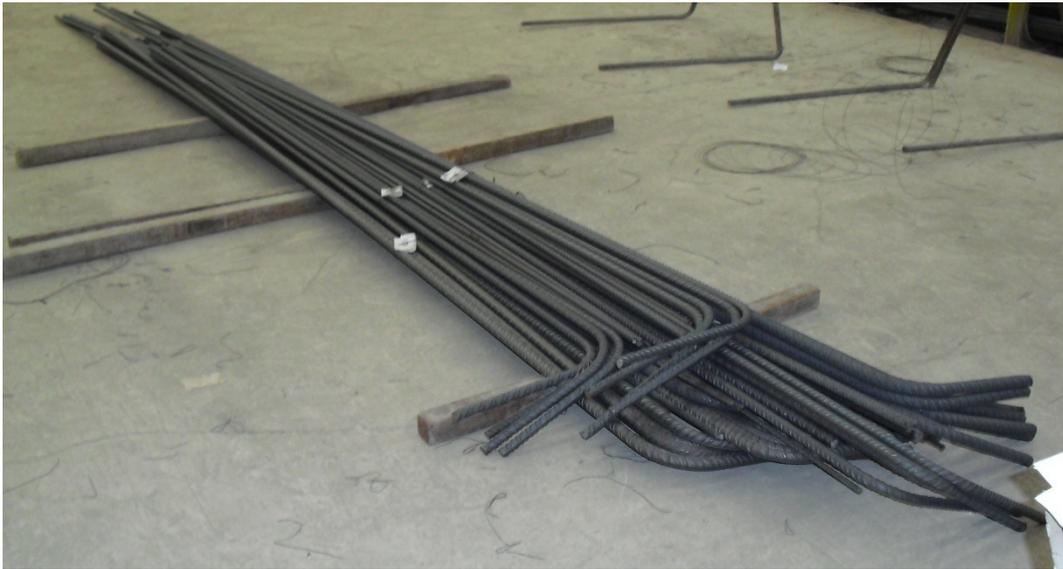
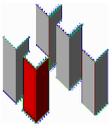
Fotografía 6-7. Armadura básica electrosoldada en celosía.

3.2- Armaduras elaboradas.

Son cada una de las formas en las que se despiece una armadura pasiva. (Barras rectas, barras curvadas, cercos, estribos, etc.)



Fotografía 8. Estribos elaborados en taller.



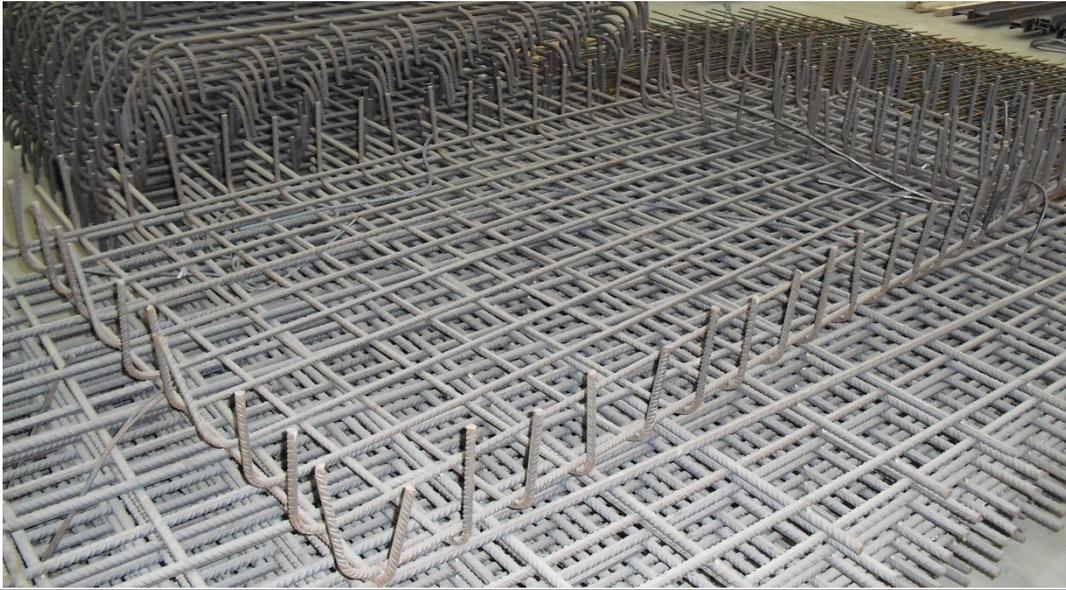
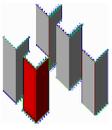
Fotografía 9. Barras dobladas en taller, para pilares de última planta



Fotografía 10. Barras grifadas en taller para pilares de planta intermedia.

3.3- Ferralla armada

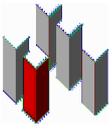
La ferralla armada, el resultado de aplicar a las armaduras elaboradas los correspondientes procesos de armado, bien mediante atado por alambre o mediante soldadura no resistente.



Fotografía 11. Parrilla de cimentación.



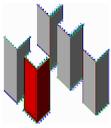
Fotografía 12. Encepado.



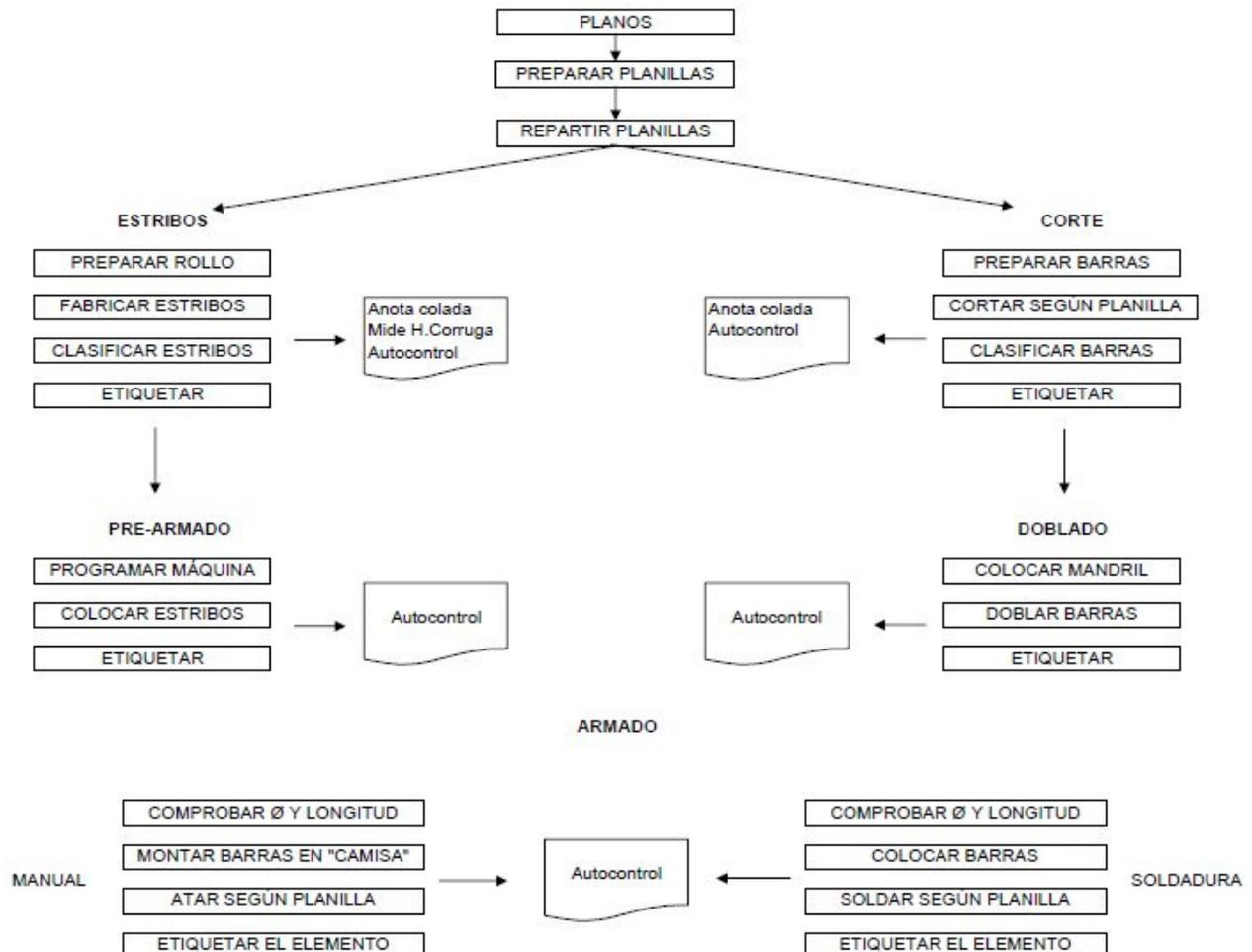
Fotografía 13. Pilar en proceso de armado.



Fotografía 14. Zuncho en proceso de armado.



4- PROCESOS DE ELABORACIÓN DE LA FERRALLA EN TALLER.

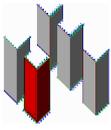


4.1- Introducción.

Definiciones:

– Ferralla: conjunto de los procesos de transformación del acero corrugado, suministrado en barras o rollos, que tienen por finalidad la elaboración de armaduras pasivas y que, por lo tanto, 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 armaduras elaboradas o de mallas electrosoldadas.



– Montaje: proceso de colocación de la ferralla armada en el encofrado, conformando la armadura pasiva, para lo que deberá prestarse especial atención a la disposición de separadores y cumplimiento de las exigencias de recubrimientos del proyecto.

La ferralla armada, podrá ser realizada, mediante la aplicación de los procesos a los que nos vamos a referir (corte, doblado, enderezado, pre-armado...) en este punto.

4.2- Instalaciones de ferralla.

Para la elaboración de armaduras mediante procesos de ferralla, se requiere disponer de unas instalaciones que permitan desarrollar las siguientes actividades:

- Almacenamiento de los productos de acero empleados.
- Proceso de enderezado, en el caso de emplearse acero corrugado suministrado en rollo.
- Procesos de corte, doblado, soldadura y armado.

Para garantizar la trazabilidad de los productos de acero empleados en las instalaciones industriales de ferralla ajenas a la obra (taller de ferralla), la Dirección Facultativa podrá recabar evidencias sobre la misma.

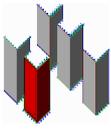
Además, la instalación de ferralla deberá tener implantado un sistema de control de la producción que incluya ensayos e inspecciones sobre las armaduras elaboradas y ferralla armada para lo que deberá disponer de un laboratorio de autocontrol, propio o contratado.

Las instalaciones de ferralla, dispondrán de la maquinaria adecuada para la elaboración de las armaduras.

4.2.1- Almacenamiento y gestión de acopios.

Las instalaciones de ferralla dispondrán de áreas específicas para el almacenamiento de los productos de acero recibidos y de las de armaduras o ferralla fabricadas, para así evitar posibles deterioros o contaminaciones de las mismas. Las áreas de acopio, preferiblemente estarán delimitadas en zonas protegidas de la intemperie. Se dispondrá de un sistema, preferentemente informatizado, para la gestión de los acopios que permita, conseguir la trazabilidad hasta el fabricante del acero empleado, para cualquiera de los procesos desarrollados en la instalación de ferralla.

No deberá emplearse acero que presente picaduras o un nivel de oxidación excesivo que pueda afectar a sus condiciones de adherencia. Se entiende que se cumplen dichas circunstancias cuando la sección afectada no es inferior al uno por ciento de la sección inicial.



Fotografía 15. Zona destinada a acopios.

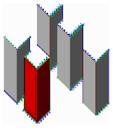


Fotografía 16. Zona destinada a acopios.

4.2.2- Control de producción.

Las instalaciones industriales de ferralla deberán tener implantado un sistema de control de producción que contemple todos los procesos que se lleven a cabo. El control de producción incluirá, como mínimo, los siguientes aspectos:

- Control interno de cada uno de los procesos de ferralla.
- Ensayos e inspecciones para el autocontrol de las armaduras elaboradas o de la ferralla armada. Incluirá la validación del proceso de enderezado, corte, doblado y soldadura.
- Documento de autocontrol, en el que se recojan por escrito los tipos de comprobaciones,



frecuencias de realización y los criterios de aceptación de la producción.

- Registro donde se archiven los documentos de autocontrol.

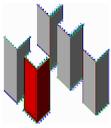
En cada uno de los procesos de elaboración de ferralla, se detalla el control de producción a realizar para cada uno de ellos

4.3- Despiece.

En este proceso se elaboran unas planillas de despiece de armaduras de acuerdo con los planos del proyecto. Deberán ir firmadas por una persona física responsable del despiece en la instalación de ferralla. Estas planillas reflejarán la geometría y las características específicas de cada una de las distintas formas, indicando la cantidad total de armaduras iguales a fabricar y la identificación de los elementos a los que están destinadas.

- Nunca las formas de despiece podrán suponer una disminución de las secciones de establecidas en el proyecto.
- En el caso de que el proyecto defina una distribución de formas específica, el despiece desarrollado en la instalación de ferralla deberá respetarlo salvo que la dirección facultativa o la entidad de control de calidad, autorice por escrito otra disposición alternativa de otras formas de armado.
- En otros casos, la instalación de ferralla podrá definir el despiece que considere más adecuado, cumpliendo lo establecido en el proyecto. El despiece será presentado previamente a la dirección facultativa, que podrá modificarlo si lo considera adecuado.
- Debe evitarse el empleo simultáneo de aceros con diferente designación. Si no existe peligro de confusión, podrán utilizarse en un mismo elemento dos tipos diferentes de aceros para las armaduras pasivas: uno para la armadura principal y otro para los cercos o estribos.
- En el caso de vigas o elementos análogos sometidos a flexión, las barras que se doblen deberán ir convenientemente envueltas por cercos o estribos en la zona del codo. Esta disposición es siempre recomendable, cualquiera que sea el elemento de que se trate. En estas zonas, cuando se doblen simultáneamente muchas barras, resulta aconsejable aumentar el diámetro de los estribos o disminuir su separación.

La documentación generada tras el despiece, y que se entrega a los distintos puestos del taller, es la que se detalla en la siguiente tabla:

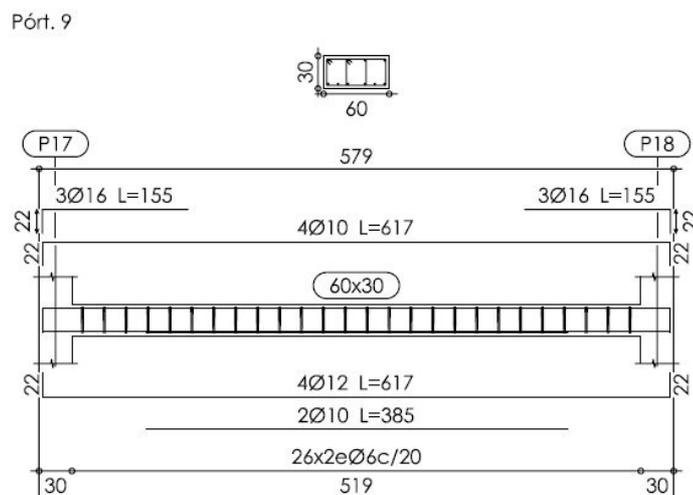


| | |
|--------------------|---|
| Zona de Corte | -Planilla de corte – doblado. -Hoja de trazabilidad de barras. |
| Zona de Doblado | -Planilla de corte-doblado. |
| Zona de Estribado | -Planilla de estribos. -Hoja de trazabilidad de rollos. |
| Zona de Pre-armado | -Planillas de pre-armado. |
| Zona de Armado | -Planillas de armado manual. -Planillas de soldadura. |

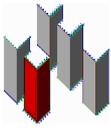
Tabla 13.Documentación generada tras el despiece.

A continuación, tenemos varios ejemplos de planillas de distintos elementos constructivos:

Ejemplo. Planilla de una viga.



Fotografía 17. Detalle de despiece de una viga.

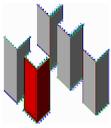


Planilla de estribos:

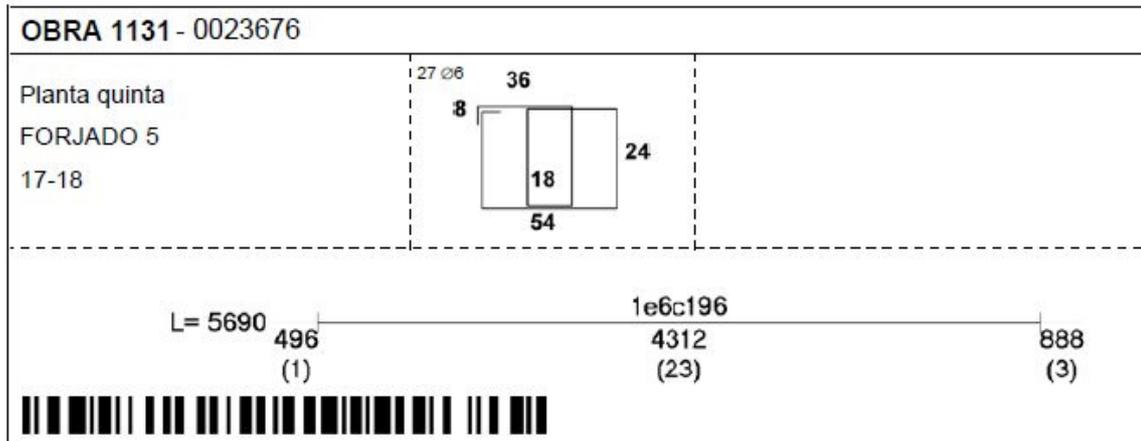


Planilla de corte y doblado:

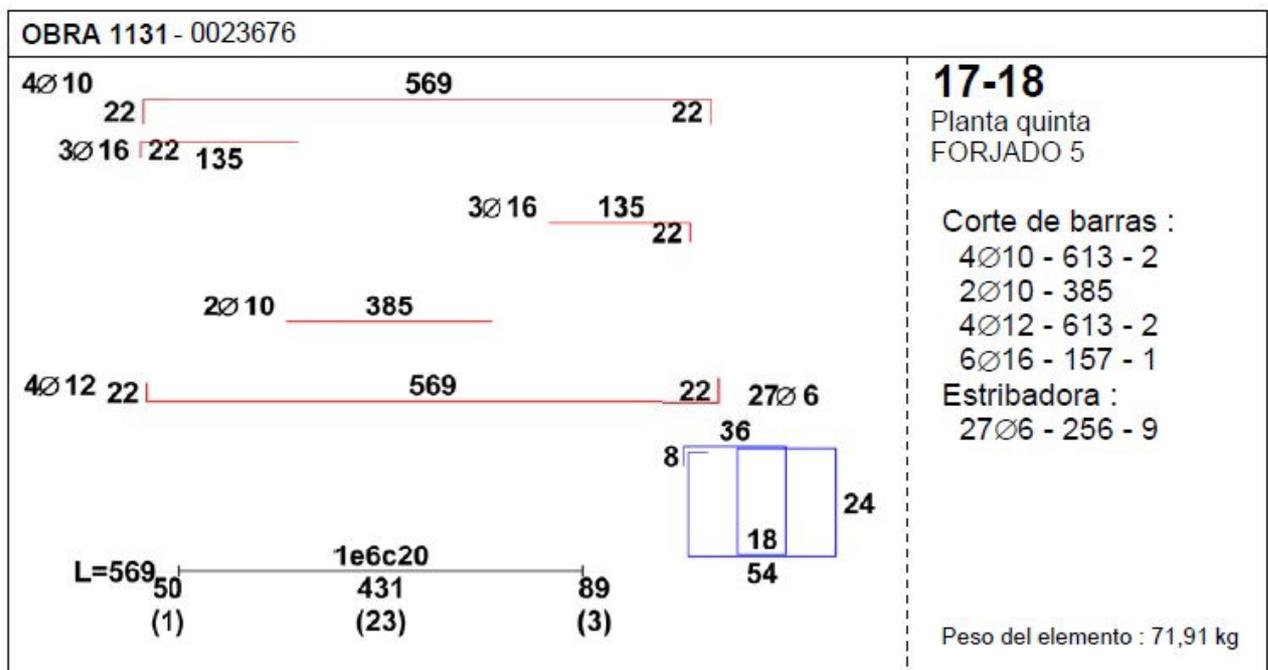
| 17-18 | | Planta quinta FORJADO 5 |
|------------|--------|----------------------------|
| 4Ø10 - 608 | 22 22 | 15,00 kg 24,34 m |
| 2Ø10 - 385 | 385 | 4,76 kg 7,70 m |
| 4Ø12 - 607 | 22 22 | 21,56 kg 24,30 m |
| 3Ø16 - 153 | 22 135 | 7,23 kg 4,58 m |
| 3Ø16 - 153 | 135 22 | 7,23 kg 4,58 m |

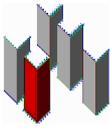


Planilla de pre- armado:



Planilla de armado:





Ejemplo. Planilla de un pilar de última planta.

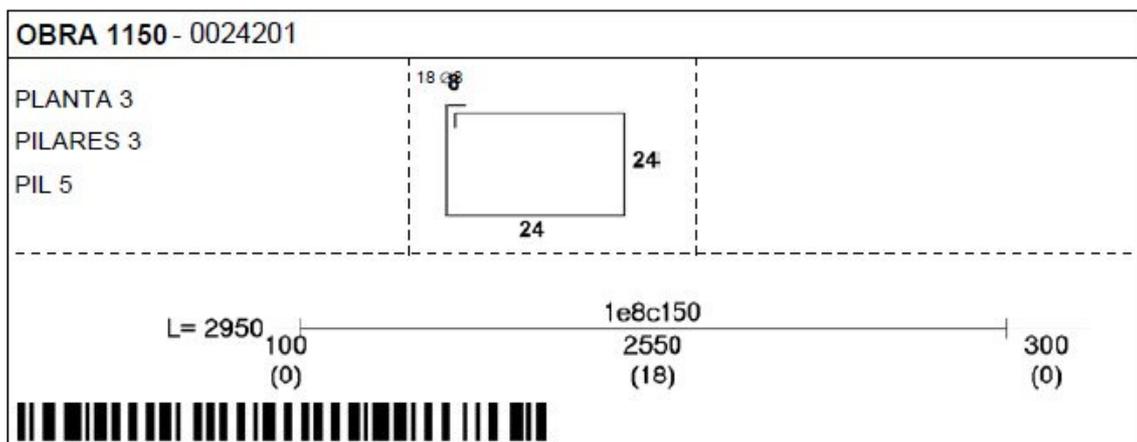
Planilla de estribos:

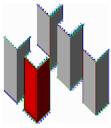


Planilla de corte:

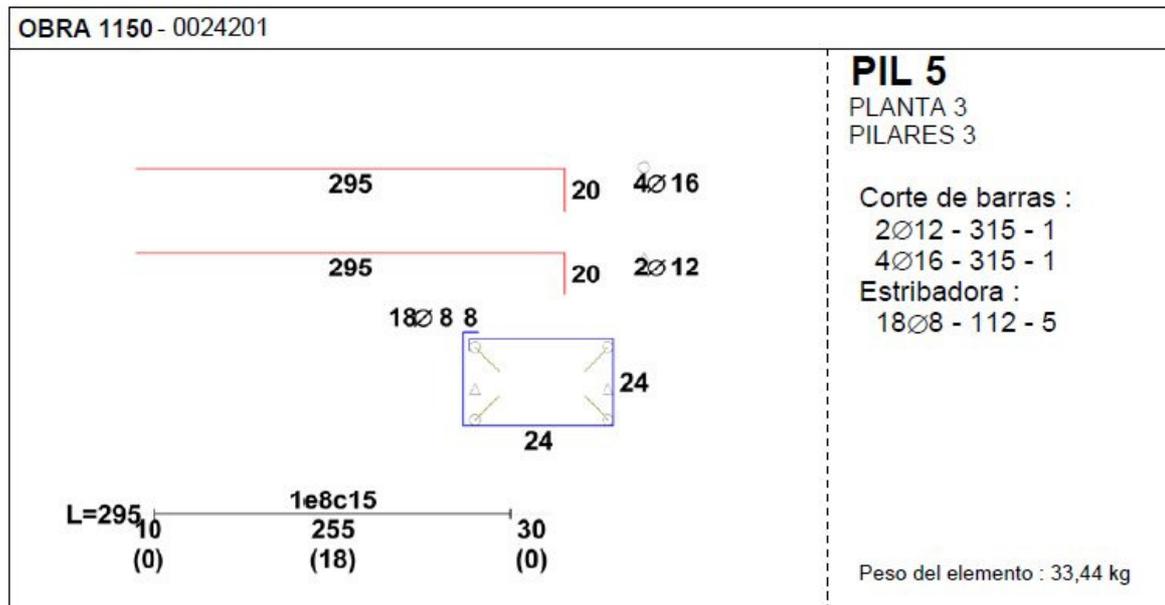
| PIL 5 | | PLANTA 3 PILARES 3 | |
|------------|-----|-----------------------|------------------|
| 2Ø12 - 312 | 295 | 20 | 5,54 kg 6,24 m |
| 4Ø16 - 311 | 295 | 20 | 19,64 kg 12,42 m |

Planilla de pre- armado:



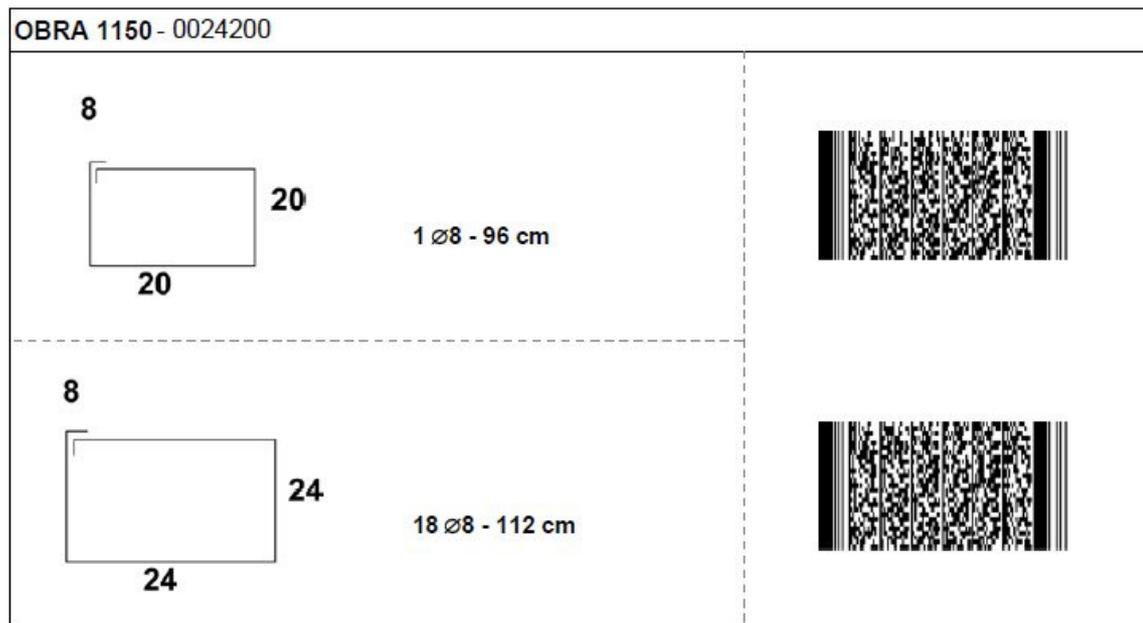


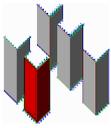
Planilla de armado:



Ejemplo. Planilla de un pilar de planta intermedia.

Planilla de estribos:

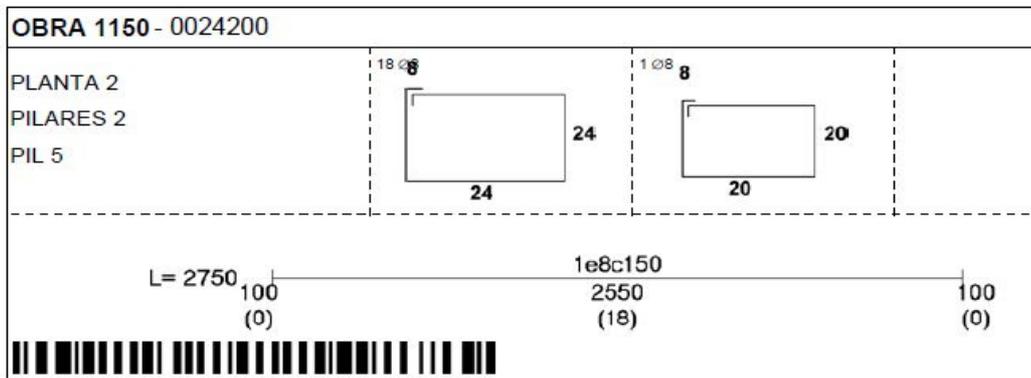




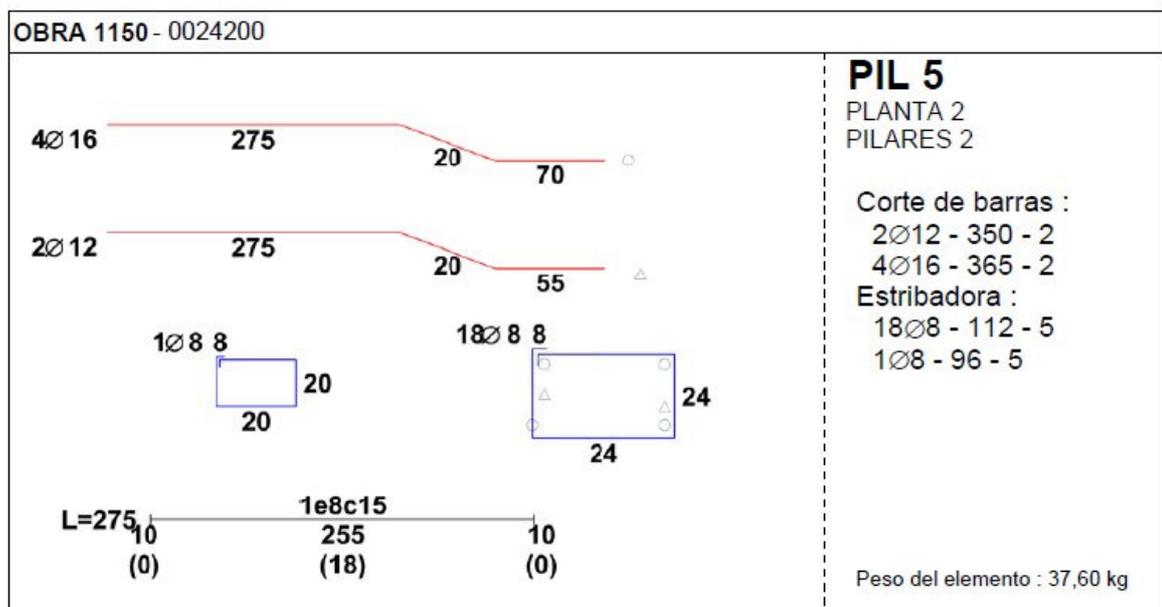
Planilla de corte:

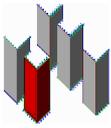
| PIL 5 | | PLANTA 2 PILARES 2 | |
|------------|--|-----------------------|---------|
| 2Ø12 - 349 | | 6,20 kg | 6,99 m |
| 4Ø16 - 364 | | 23,00 kg | 14,57 m |

Planilla de pre- armado:



Planilla de armado:



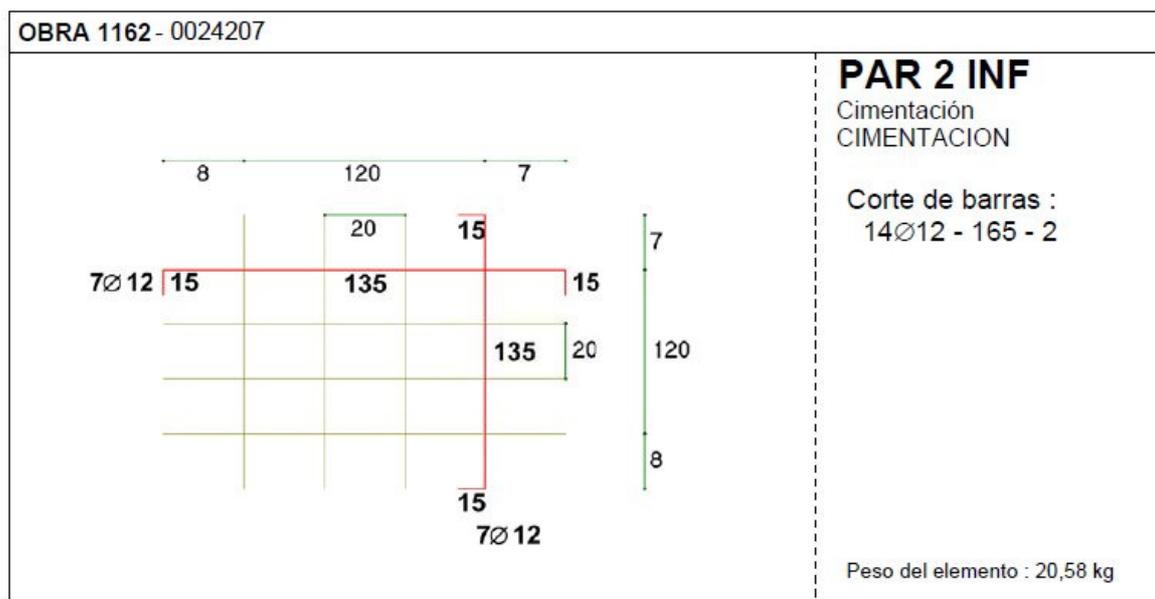


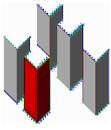
Ejemplo. Planilla de una parrilla de cimentación.

Planilla de corte:



Planilla de armado:





4.4- Proceso de Corte.

4.4.1- Maquinaria.

Las operaciones de corte pueden realizarse con:

- Cizallas manuales.
- Máquinas automáticas de corte. Estas máquinas deberán poder ser programadas para adaptarse a las dimensiones establecidas en el proyecto.

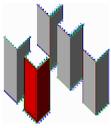
No podrán utilizarse otros equipos que puedan provocar una alteración relevante de las propiedades físico-metalúrgicas del material, como por ejemplo corte con sopletes.



Fotografía 18. Cizalla manual.



Fotografía 19. Carro de corte.



Fotografía 20. Cortadora.

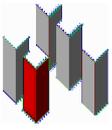
4.4.2- Criterios para el proceso de corte.

Las barras, alambres y mallas se cortarán ajustándose a los planos e instrucciones del proyecto o a las planillas sacadas a partir de estos.

Este proceso no alterará las características geométricas o mecánicas del acero empleado.

Proceso de corte en taller:

- Preparar las barras a cortar.
- Anotar la colada en la Hoja de Trazabilidad de Barras.
- Cortar de acuerdo con la planilla de corte.
- Clasificar por longitudes y diámetros.
- Etiquetar y apartar el despunte.
- Enviar a Doblado y/o a zona de Armado.



Fotografía 21. Barras entrando para ser cortadas.



Foto 22. Barras saliendo, ya cortadas.

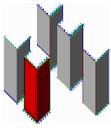


Foto 23. Rodillos de corte.

Las tolerancias de corte son las siguientes:



$$L \leq 6m \pm 20mm.$$

$$L > 6m +20mm.$$

$$-30mm.$$

Tabla 14. Tolerancias de corte.

4.4.3- Control de producción.

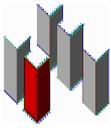
Se validará el proceso de corte, realizando determinaciones dimensionales sobre armaduras una vez cortadas.

- Para corte automático:

Se comprobarán como mínimo cinco medidas semanales por cada máquina.

- Para corte manual:

Se comprobarán como mínimo cinco medidas semanales por cada operario.



Las medidas obtenidas deberán estar dentro de las tolerancias de corte.

Se adjunta un ejemplo de hoja para el autocontrol en taller.

AUTOCONTROL CORTE

MES: _____ MÁQUINA: _____

SEMANA: _____

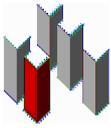
| DIA | Nº OPERARIO | Nº PEDIDO | Ø BARRA | LONGITUD (en cm) | | CONFORME SI / NO |
|-----|-------------|-----------|---------|------------------|------|---------------------|
| | | | | TEÓRICA | REAL | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| Nº PEDIDO | CLIENTE | OBRA | PLANTA | GRUPO |
|-----------|---------|------|--------|-------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

OPERARIO

Nº Nombre, apellidos, firma:

| | |
|----------------|-------------------|
| Vº Bº CALIDAD: | Vº Bº PRODUCCIÓN: |
|----------------|-------------------|



4.5- Proceso de Doblado.

4.5.1- Maquinaria.

El doblado se efectuará mediante máquinas dobladoras manuales o automatizadas, que puedan emplear mandriles que permitan cumplir los radios de doblado exigidos en función del diámetro de la armadura.



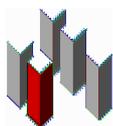
Fotografía 24. Máquina dobladora.

4.5.2- Criterios para el proceso de doblado.

Las armaduras se doblarán previamente a su colocación, y se ajustarán a los planos e instrucciones del proyecto o a las planillas elaboradas a partir de estos.

El doblado se realizará a temperatura ambiente, a velocidad constante y con ayuda de mandriles, de modo que la curvatura sea constante en toda la zona.

- De manera excepcional, en el caso de barras parcialmente hormigonadas, podrá admitirse el doblado en obra por procedimientos manuales.
- No se admitirá el enderezamiento de codos, salvo cuando esta operación pueda realizarse sin daño inmediato o futuro para la barra correspondiente.
- No debe doblarse un número elevado de barras en una misma sección de la pieza, para no crear una concentración de tensiones en el hormigón que pudiera ser peligrosa.



- Si resultase imposible realizar desdoblados en obra (por ejemplo armaduras de espera), estos se realizarán de acuerdo con los criterios de ejecución contratados, debiéndose comprobar que no se han producido fisuras o fracturas en las barras. En caso contrario, se procederá a la sustitución de elementos dañados. Si la operación de desdoblado se realizase en caliente, deberán adoptarse las medidas adecuadas para no dañar al hormigón con altas temperaturas.

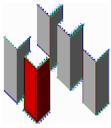
- El diámetro mínimo de una barra ha de ser tal que evite compresiones excesivas y hendimiento del hormigón en la zona de curvatura de la barra, debiendo evitarse fracturas en la misma originadas por dicha curvatura. Para ello salvo que el proyecto indique lo contrario, se realizará con mandriles de diámetro no inferior a los indicados en la tabla.

| Barras corrugadas | Ganchos, patillas y gancho en U | | Barras dobladas y otras barras curvadas | |
|-------------------|---------------------------------|--------|---|--------|
| | Diámetro de la barra, Ø (mm) | | Diámetro de la barra, Ø (mm) | |
| | Ø < 20 | Ø ≥ 20 | Ø ≤ 25 | Ø > 25 |
| B400S – B400SD | 4 Ø | 7Ø | 10Ø | 12Ø |
| B500S – B500SD | 4 Ø | 7Ø | 12Ø | 14Ø |

Tabla 13. Diámetro mínimo de los mandriles de doblado.

| CALIDAD DEL ACERO | Ø6 | Ø8 | Ø10 | Ø12 | Ø14 | Ø16 | Ø20 | Ø25 | Ø32 | Ø40 |
|-------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| B400S B400SD | 25 | 35 | 40 | 50 | 60 | 65 | 140 | 175 | 225 | 280 |
| B500S B500SD | 25 | 35 | 40 | 50 | 60 | 65 | 140 | 175 | 225 | 280 |

Tabla 14. Diámetro mínimo de los mandriles para Ganchos, Patillas y Ganchos en U.



| CALIDAD DEL ACERO | Ø6 | Ø8 | Ø10 | Ø12 | Ø14 | Ø16 | Ø20 | Ø25 | Ø32 | Ø40 |
|-------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| B400S B400SD | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 200 | 250 | 385 | 480 |
| B500S B500SD | 72 | 100 | 120 | 145 | 170 | 195 | 240 | 300 | 450 | 560 |

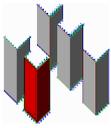
Tabla 15. Diámetro mínimo de los mandriles para Barras dobladas y otras barras curvadas.



Fotografías 24-25. Mandriles de doblado.



Fotografías 26. Mandriles de doblado colocados.



Las limitaciones en los diámetros de doblado tienen por objeto eliminar los daños en el acero y limitar las presiones sobre el hormigón, para impedir su fisuración y aplastamiento en las zonas de doblado.

El doblado de las mallas electrosoldadas, se regirá por la tabla de diámetros mínimos de los mandriles, siempre que el doblado se efectúe a una distancia mínima de $4\varnothing$ contados a partir del nudo o soldadura más próximo. En caso contrario el diámetro mínimo de doblado no podrá ser inferior a $20\varnothing$.

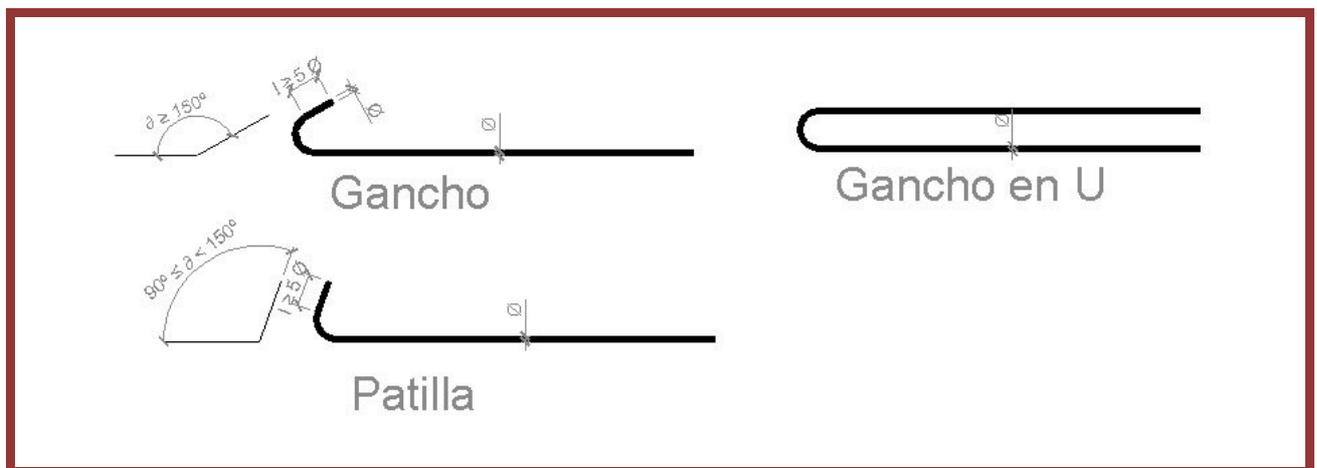
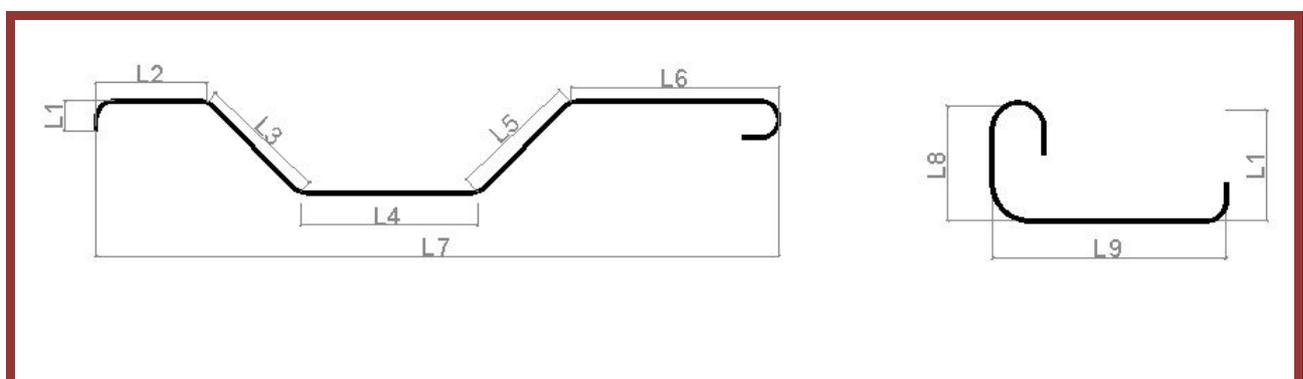
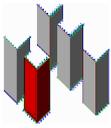


Tabla 17. Formas de doblado.

Las Tolerancias de doblado son las que se muestran en las figuras siguientes:

Cotas en general

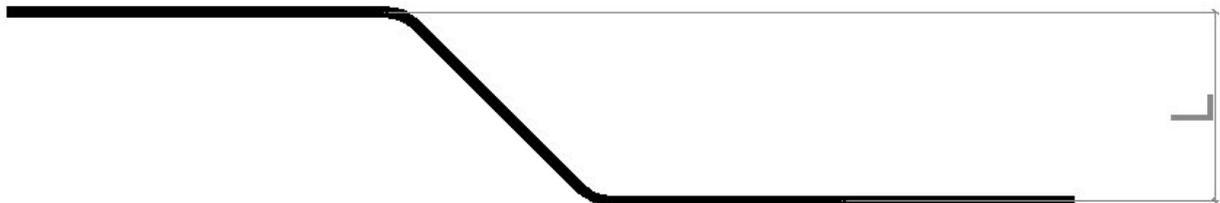




| | |
|-------------------------|------------------------|
| $L_i \leq 6m \pm 20mm.$ | $L7 \leq 6m \pm 20mm.$ |
| $L_i > 6m \pm 30mm.$ | $L7 > 6m \pm 20mm.$ |
| | $\pm 30mm.$ |

Tabla 18. Tolerancias de doblado.

Cotas que afectan al canto.



| |
|-------------------------|
| $L \leq 1m \pm 10mm$ |
| $1m < L \leq 2m$ -12mm. |
| -16mm. |
| $L > 2m$ +16mm. |
| -20mm. |

Tabla 19. Cotas que afectan al canto.

Radios de doblado.

| |
|---------------------------------|
| $\emptyset \leq 25$ $\pm 15mm.$ |
| $\emptyset > 25$ $\pm 25mm.$ |

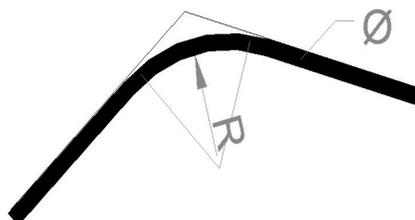
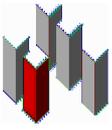


Tabla 20. Radios de doblado.



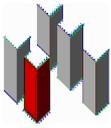
Proceso de doblado en taller.

- Medir la posición para el doblado, deduciendo la ganancia si es procedente.
- Colocar el mandril correspondiente según diámetro y acero.
- Doblar de forma adecuada, y conforme a las planillas de Corte y Doblado.
- Etiquetar.
- Entregar la barra doblada a la sección de Armado.

Los diámetros 25 y 32 no se utilizarán nunca como barras dobladas y únicamente el 25 se doblará alguna vez en forma de patilla.



Fotografía 26. Doblado de barras con mandril correspondiente.



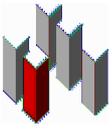
Fotografía 27. Barras preparadas para doblar.

4.5.3-Control de producción.

Se controlará el proceso de doblado semanalmente sobre cada máquina. Aplicando plantillas de doblado sobre al menos cinco armaduras de cada máquina. Para verificar que se han utilizado los mandriles correspondientes, se controlará mediante plantillas de doblado.



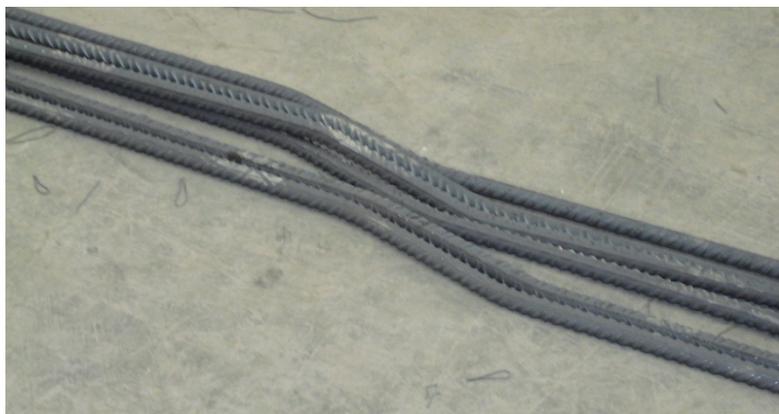
Fotografías 28-29. Plantillas de doblado para autocontrol en taller.



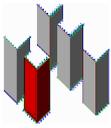
Fotografía 30. Verificación del proceso de doblado mediante plantillas. Autocontrol



Fotografías 31-32. Barras dobladas en patilla.



Fotografía 32. Barras grifadas.



Se adjunta un ejemplo de hoja para el autocontrol en taller.

AUTOCONTROL DOBLADO

MES:

MÁQUINA:

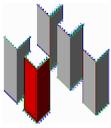
SEMANA:

| DIA | Nº OPERARIO | Nº PEDIDO | Ø BARRA | MANDRIL | | CONFORME SI / NO |
|-----|-------------|-----------|---------|-----------|------------|---------------------|
| | | | | UTILIZADO | COMPROBADO | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| Nº PEDIDO | CLIENTE | OBRA | PLANTA | GRUPO |
|-----------|---------|------|--------|-------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| |
|---|
| <p>OPERARIO</p> <p>Nº Nombre, apellidos, firma:</p> |
|---|

| | |
|----------------|-------------------|
| Vº Bº CALIDAD: | Vº Bº PRODUCCIÓN: |
|----------------|-------------------|



4.6- Proceso de enderezado. Elaboración de cercos y estribos.

En talleres de ferralla, los elementos a realizar con las máquinas enderezadoras son generalmente cercos y estribos, los cuales se realizan a partir del enderezado de acero suministrado en rollos

4.6.1- Maquinaria.

El enderezado se efectuará con máquinas específicamente fabricadas para ello, y que durante el enderezado no alteren las características mecánicas y geométricas del material.

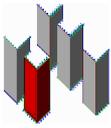
NO podrán emplearse máquinas dobladoras para efectuar el enderezado.



Fotografía 33. Máquina Enderezadora. Estribera.



Fotografía 33. Interior de la estribera. Rodillos enderezadores.

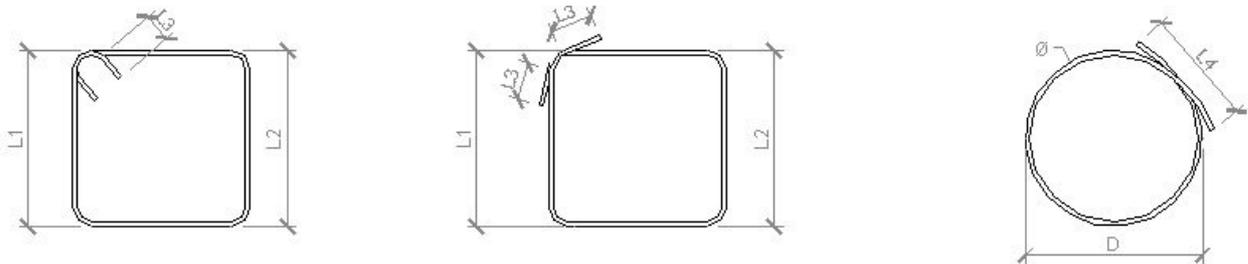


4.6.2- Criterios para el enderezado.

Elaboración de cercos y estribos en taller.

- Se prepara el rollo a usar.
- Se anota la colada en la hoja de trazabilidad de estribos.
- Se fabrican los estribos cuidando su forma y curvatura, de acuerdo con la planilla de estribos.
- Se clasifican por forma y pedido.
- Se dejan identificados para pasar a la zona de pre-armado.

Tolerancias de cercos y estribos



| Todas las dimensiones en mm | $\varnothing \leq 25$ | $\varnothing > 25$ |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| L_1^* | ± 16 | +20 -24 |
| L_2^* | ± 16 | +20 -24 |
| L_3^* | ± 16 | +20 -24 |
| L_4^* | ± 16 | +20 -24 |
| D | ± 15 | +20 -24 |

Tabla 21. Tolerancias de cercos y estribos.



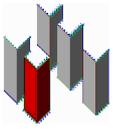
Cuando se efectúe el proceso de enderezado, la máxima variación que se produzca para la deformación bajo carga máxima deberá ser inferior al 2,5%. Considerando que los resultados pueden verse afectados por el método de preparación de la muestra para su ensayo, pueden aceptarse procesos que presenten variaciones de \square máx. que sean superiores al valor indicado en un 0,5%, siempre que se cumplan los valores de especificación de la armadura. Además, la variación de altura de corruga deberá ser inferior a 0,10 mm, en el caso de diámetros superiores a 20 mm e inferiores a 0,05 mm en el resto de los casos.



Fotografía 34. Elaboración de estribos, en máquina estribera.



Fotografía 35. Cercos elaborados.



4.6.3- Control de producción.

En taller (Autocontrol):

Se controlará el proceso de enderezado semanalmente sobre cada máquina. Comprobando con plantillas de doblado, que se ha utilizado para la elaboración de estribos el mandril correspondiente al diámetro utilizado, y las dimensiones de estos respecto a la planilla de estribos, sobre al menos cinco armaduras de cada máquina.

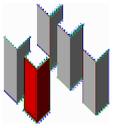
También se comprobará diariamente la altura de corruga antes y después del enderezado, la variación de altura de corruga deberá ser inferior a 0,10 mm, en el caso de diámetros superiores a 20 mm e inferiores a 0,05 mm.



Fotografía 36. Plantillas para verificación de estribos. Autocontrol.

En laboratorios de control:

La validación del proceso de enderezado, se hará mediante la realización de ensayos de tracción para cada máquina enderezadora. Se harán dos ensayos bimestrales por cada máquina, sobre un diámetro de cada serie, fina (6, 8, 10) y media (12, 16), sobre muestras tomadas antes y después del proceso de enderezado. En el caso de emplearse únicamente acero en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, la periodicidad, podrá ser de un único ensayo mensual. Se irán alternando consecutivamente los diámetros hasta ensayar la totalidad de los diámetros utilizados por cada máquina.

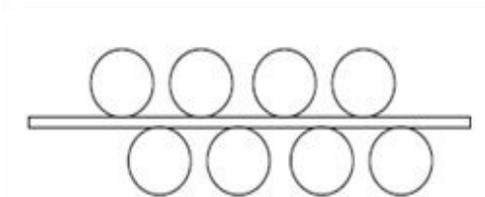


Ensayos de caracterización mecánica.

Las muestras se extraerán directamente de rollos terminados, en condiciones de suministro. Se procederá para ello a extraer del rollo espiras completas.

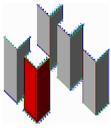
Para cada toma de muestras, se obtendrá un total de tres espiras procedentes de cada rollo que sea objeto de control. De cada espira, se obtendrán dos muestras iguales, consistentes en medias espiras. De cada espira, una de las muestras (media espira) se empleará para los ensayos en el laboratorio de control y la otra, debidamente identificada, quedarán bajo la custodia del responsable del taller de ferralla donde se almacenarán, sin deformar ni manipular, por si fueran precisas como muestras de contraensayo durante el plazo de un mes desde la fecha de su toma de muestras.

Las muestras extraídas del rollo se someterán a un proceso de enderezado mediante una máquina adecuada, que presente un total de ocho rodillos del mismo diámetro (cuatro tractores para arrastrar el acero y otros cuatro libres), capaces de poder ser desplazados verticalmente para ajustarse al eje de la barra y con una disposición al tresbolillo similar a la de la Figura. El diámetro de los rodillos y la separación entre los mismos, será el indicado en la tabla siguiente.



| Tipo de rodillo | Características geométricas. | | | |
|-----------------|------------------------------|-----------------------|---|-----------------------|
| | Diámetro del rodillo. (mm.) | | Separación horizontal entre rodillos. (mm.) | |
| | $\varnothing \leq 12$ | $\varnothing \geq 12$ | $\varnothing \leq 12$ | $\varnothing \geq 12$ |
| Tractor o libre | $140 \pm 2\%$ | $180 \pm 2\%$ | $175 \pm 2\%$ | $330 \pm 2\%$ |

Tabla 22. Diámetro y separación de los rodillos de enderezado.



Se adjunta un ejemplo de hoja para el autocontrol en taller.

AUTOCONTROL ESTRIBOS

MES:

MÁQUINA:

SEMANA:

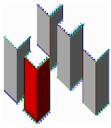
| DIA | Nº OPERARIO | Nº PEDIDO | Ø BARRA | | DIMENSIONES | | CONFORME SI / NO |
|-----|-------------|-----------|---------|---------|-------------|------|---------------------|
| | | | BARRA | MANDRIL | TEÓRICA | REAL | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| Nº PEDIDO | CLIENTE | OBRA | PLANTA | GRUPO |
|-----------|---------|------|--------|-------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

OPERARIO

Nº Nombre, apellidos, firma:

| | |
|----------------|-------------------|
| Vº Bº CALIDAD: | Vº Bº PRODUCCIÓN: |
|----------------|-------------------|



4.7- Proceso de Pre-armado.

El proceso de pre-armado es un sistema que facilita el armado posterior de la ferralla. Se hace mediante la disposición adicional de barras o alambres auxiliares, para así posibilitar la disposición automática de estribos.

En ningún caso los elementos adicionales (barras o alambres) se tendrán en cuenta como sección de la armadura.

Estos elementos auxiliares, si que deberán cumplir las especificaciones establecidas para recubrimientos mínimos, para así evitar posteriores problemas de corrosión.

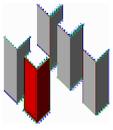
Proceso de pre-armado en taller:

Se utilizará la máquina "Idea", como armadura de sujeción de estribos formando las "camisas" de la manera siguiente:

- Pedir los estribos del elemento ó elementos a realizar a la zona de estribado.
- Programar la máquina IDEA para introducir la distancia entre estribos según la planilla de Máquina Idea.
- Colocar los estribos manualmente en la zona de soldar, la soldadura utilizada es eléctrica no resistente.
- Etiquetar el elemento (Cliente, Obra, Planta y Elemento).
- Ubicar las "camisas" en la zona de armado, o lo más próximo posible a ésta.



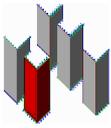
Fotografía 37. Máquina "Idea" (Pre-armado)



Fotografía 38. Nudos o electrodos de soldadura.



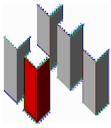
Fotografía 39. Colocación de estribos en la zona a soldar.



Fotografía 40. "Camisa" saliendo de la máquina.



Fotografía 41. "Camisa" acabada, preparada para pasar a armado.



Se adjunta un ejemplo de hoja para el autocontrol en taller.

AUTOCONTROL PRE-ARMADO

MES:

MÁQUINA:

SEMANA:

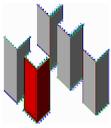
| DIA | Nº OPERARIO | Nº PEDIDO | ELEMENTO | CONFORME SI/NO | |
|-----|-------------|-----------|----------|----------------------|---------------------|
| | | | | DISPOSICIÓN ESTRIBOS | COMPROBACIÓN VISUAL |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| Nº PEDIDO | CLIENTE | OBRA | PLANTA | GRUPO |
|-----------|---------|------|--------|-------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

OPERARIO

Nº Nombre, apellidos, firma:

| | |
|----------------|-------------------|
| Vº Bº CALIDAD: | Vº Bº PRODUCCIÓN: |
|----------------|-------------------|



5- ARMADO DE LA FERRALLA.

El armado de la ferralla será conforme a las geometrías definidas en el proyecto, disponiendo armaduras que permitan un correcto hormigonado de la pieza de manera que todas las barras o grupos de barras queden perfectamente envueltas por el hormigón, y teniendo en cuenta, en su caso, las limitaciones que pueda imponer el empleo de vibradores internos.

Cuando las barras se coloquen en capas horizontales separadas, las barras de cada capa deberán situarse verticalmente una sobre otra, de manera que el espacio entre las columnas de barras resultantes permita el paso de un vibrador interno.

La ferralla armada en taller, garantizará el mantenimiento de su armado durante el transporte hasta la obra. En taller se utilizan unas crucetas dentro de los elementos, para evitar el “aplastamiento” del elemento durante el transporte a la obra.

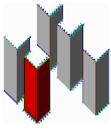


Fotografía 42. Crucetas para garantizar el armado durante el transporte.

5.1- Tipos de armado.

Para el armado habitualmente se consideran dos sistemas, el atado con alambre, o manual y el atado con puntos de soldadura no resistente.

Tanto la soldadura no resistente, como el atado con alambre podrán efectuarse mediante uniones en cruz o por solape.



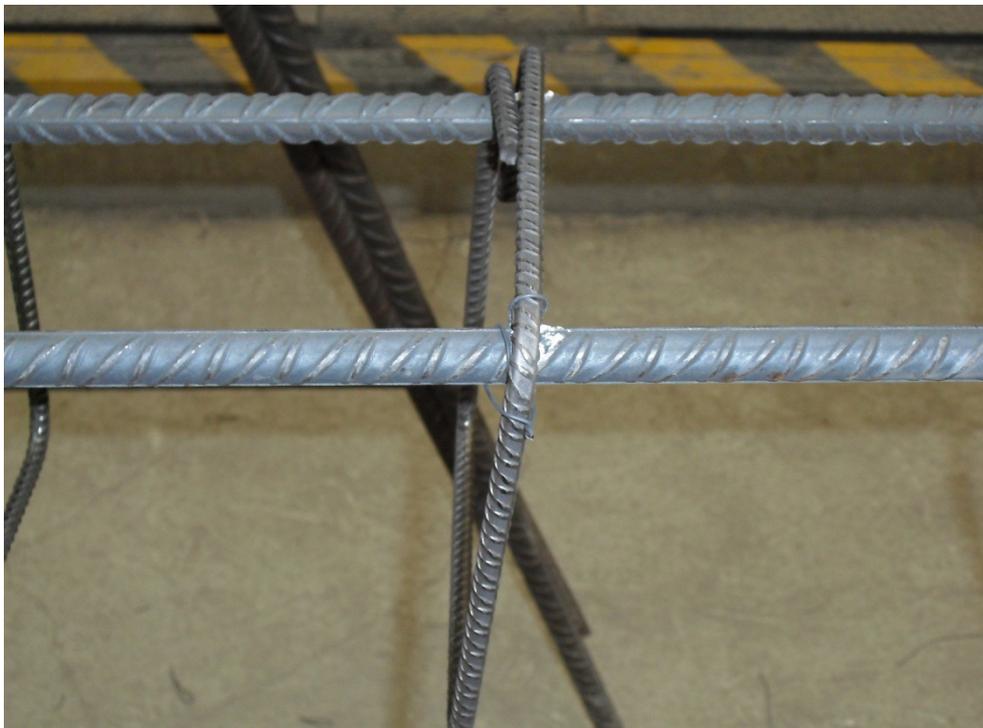
5.1.1- Armado manual.

Se realiza generalmente con alambre negro de acero de 1,2 a 1,6 mm. de diámetro, atado con herramienta manual (tenaza) o con atadora mecánica.

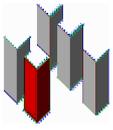
En cualquier caso, independientemente del sistema, se debe garantizar el atado de las barras para que no se muevan y queden fijadas en su posición tanto en el transporte y montaje de las armaduras como durante el vertido y la compactación del hormigón.



Fotografía 43. Tenaza para armado manual.



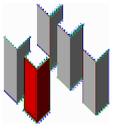
Fotografía 44. Atado manual.



Fotografía 45. Atado manual con alambre.



Fotografía 46. Colocación de camisas sobre caballetes para el atado.



5.1.2- Atado con puntos de soldadura.

Se permite el uso de soldadura para la elaboración de ferralla siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- El acero sea soldable
- La operación se realiza de acuerdo con los procedimientos establecidos en la Norma UNE 36832:1997 y se efectúan en un taller con instalación industrial fija.

Únicamente se admite la soldadura en obra para la elaboración de la ferralla en los casos previstos en el Proyecto y debidamente autorizados por la Dirección de Obra.

Se prohíbe el atado mediante soldeo cuando la ferralla se encuentre en los encofrados o moldes.

Actualmente se emplean dos procedimientos básicos de soldadura, por electrodo o hilo continuo (con aportación de material) y por resistencia o electrosoldadura (sin aportación de material).

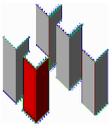
El atado con puntos de soldadura se considera una unión no resistente destinada sólo a sujetar las armaduras; no obstante, en algunos casos de jaulas de ferralla, es conveniente fijar las armaduras por uniones resistentes de cara a contar con el anclaje que proporcionan las barras transversales soldadas.

En cualquier caso, el procedimiento de soldadura debe garantizar tanto la resistencia de la unión como la ductilidad de las barras en la zona próxima a la soldadura, y evitar que la unión se suelte durante su manipulación, transporte y manejo previos a la colocación en el encofrado.

Los requisitos anteriores obligan a efectuar estas uniones en los talleres industrializados de ferralla, ya que las condiciones requeridas no pueden alcanzarse en obra, y además necesitan un control de calidad específico que incluya ensayos de tracción y de doblado de las barras para asegurar que no se han perdido las características mecánicas.

El número de uniones a realizar para el correcto atado de la ferralla debe ser suficiente para que las armaduras no se muevan y estén fijas en sus posiciones tanto en el transporte, como en el montaje y en el hormigonado.

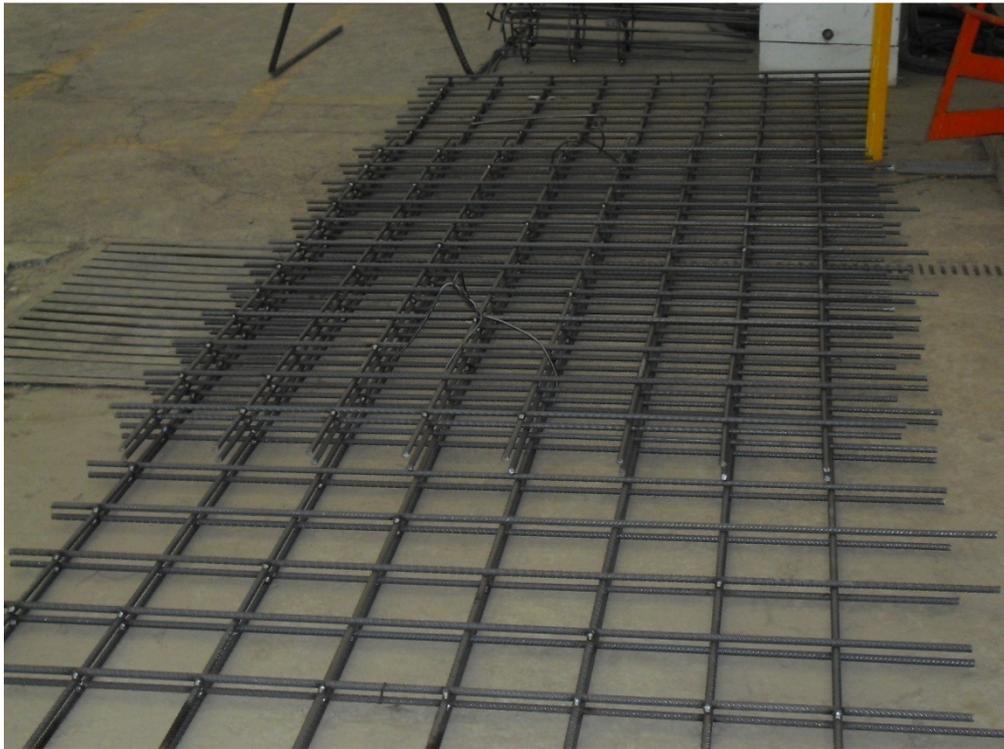
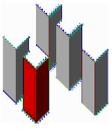
En el punto 5.5, se amplía el tema de soldadura y su control.



Fotografía 47. Punto de soldadura.



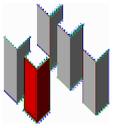
Fotografía 48. Proceso de soldadura en taller.



Fotografía 49. Paneles soldados.



Fotografía 50. Elementos de ferralla atados mediante soldadura.



5.2- Reglas para el atado.

Con carácter general, las barras de la armadura principal deben pasar por el interior de la armadura de cortante, pudiendo adoptarse otras disposiciones cuando así se justifique convenientemente durante la fase de proyecto.

La disposición de los puntos de atado, independientemente del sistema de atado que se utilice, cumplirá las siguientes condiciones en función del tipo de elemento:

Losas y placas

Todos los cruces de barras situados en el perímetro del panel de armadura han de atarse.

El resto de los cruces de barras del panel se atan en función del diámetro de la barra principal $\varnothing 1$:

- Si $\varnothing 1 < 12$ mm., las barras se atan de forma alterna-consecutiva (al tresbolillo).
- Si $\varnothing 1 > 12$ mm., las barras se atan de forma alternativa sin que la distancia entre dos atados sea superior a $50 \varnothing 1$.

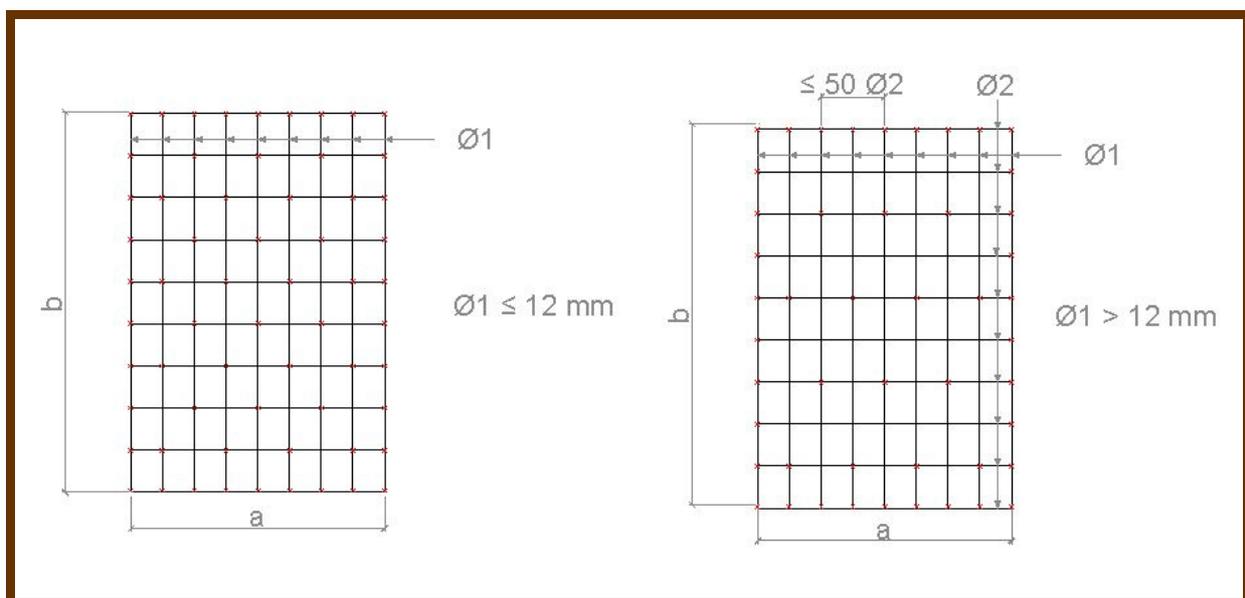
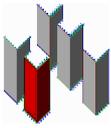


Tabla 23. Atado de losas y placas.

Pilares y vigas

- Se atarán todos los cruces de esquina de los estribos con la armadura principal;
- Cuando se utilice malla electrosoldada doblada formando los estribos o armadura de pre-armado para la disposición automática de estribos, la armadura principal debe



atarse en las esquinas a una distancia no superior a 50 veces el diámetro de la armadura principal;

- Las barras de armadura principal que no estén ubicadas en las esquinas de los estribos, deben atarse a éstos a distancias no superiores a 50 veces el diámetro de la armadura principal;
- En el caso de estribos múltiples formados por otros estribos simples, deberán atarse entre sí.



Tabla 24. Atado de pilares y vigas.

Muros

- Se atarán las barras en sus intersecciones de forma alternativa, al tresbolillo.

Los muros prefabricados, hormigonados con su plano medio en posición horizontal, se consideran, a efectos de atado, como losas.

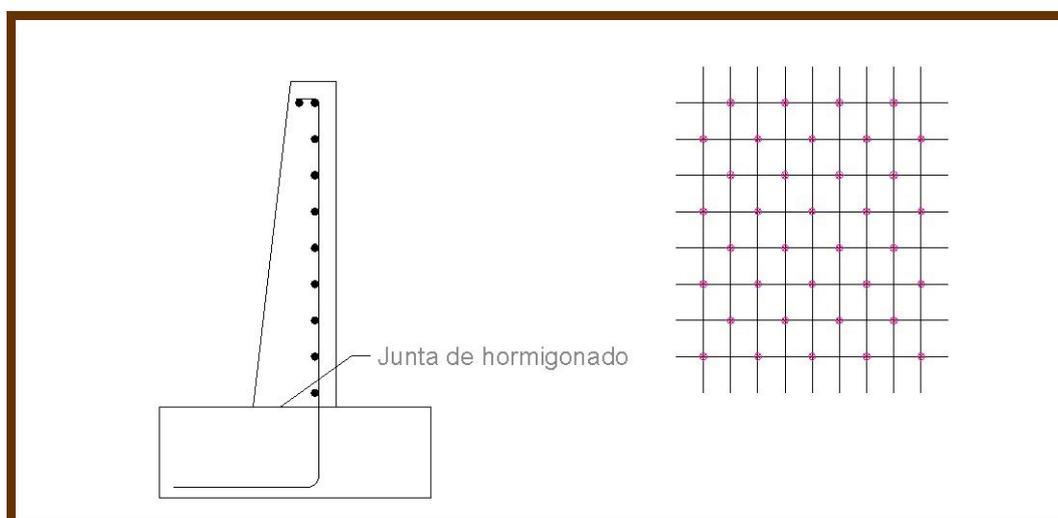
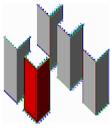


Tabla 25. Atado de muros.



5.3- Distancia entre barras de armaduras pasivas.

5.3.1- Barras aisladas.

La distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas será igual o superior al mayor de los tres valores siguientes:

- 20 mm. salvo en viguetas y losas alveolares pretensadas donde se tomarán 15 mm.
- El diámetro de la mayor.
- 1,25 veces el tamaño máximo del árido.

5.3.2- Grupos de barras.

Se llama grupo de barras, a dos o más barras corrugadas puestas en contacto longitudinalmente.

Como norma general, se podrán colocar grupos de hasta tres barras como armadura principal. Cuando se trate de piezas comprimidas, hormigonadas en posición vertical, y cuyas dimensiones sean tales que no hagan necesario disponer empalmes en las armaduras, podrán colocarse grupos de hasta cuatro barras.

En los grupos de barras, para determinar las magnitudes de los recubrimientos y las distancias libres a las armaduras vecinas, se considerará como diámetro de cada grupo, el de la sección circular de área equivalente a la suma de las áreas de las barras que lo constituyan.

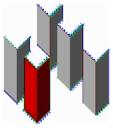
Los recubrimientos y distancias libres se medirán a partir del contorno real del grupo.

En los grupos, el número de barras y su diámetro serán tales que el diámetro equivalente del grupo, no sea mayor que 50 mm, salvo en piezas comprimidas que se hormigonen en posición vertical en las que podrá elevarse a 70 mm la limitación anterior. En las zonas de solapo el número máximo de barras en contacto en la zona del empalme será de cuatro.

5.4- Criterios para el anclaje y empalme de las armaduras pasivas.

5.4.1- Anclaje de las armaduras pasivas.

La transmisión de tensiones entre la armadura y el hormigón, se da a lo largo de una longitud teórica denominada longitud básica de anclaje (l_b), que depende de las propiedades de



adherencia de la armadura, de la posición que la armadura ocupa en la pieza de hormigón y de la resistencia de este.

Según la posición de la armadura se distinguen dos casos:

-Posición 1, de adherencia buena.

Armaduras que durante el hormigonado forman con la horizontal un ángulo comprendido entre 45º y 90º, o que en el caso de formar un ángulo inferior a 45º, están situadas en la mitad inferior de la sección o a una distancia igual o mayor a 30cm de la cara superior de una capa de hormigonado.

La longitud básica de anclaje en posición 1, es la siguiente:

$$l_{bI} = m\phi^2 \geq \frac{f_{yk}}{20} \phi$$

-Posición 2, de adherencia deficiente.

Armaduras que durante el hormigonado, no se encuentran en ninguno de los casos anteriores.

La longitud básica de anclaje en posición 2, es la siguiente:

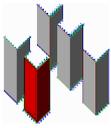
$$l_{bII} = 1,4m\phi^2 \geq \frac{f_{yk}}{14} \phi$$

La resistencia del hormigón se tiene en cuenta mediante el parámetro m obtenido experimentalmente en función del tipo de acero:

| Resistencia característica del hormigón (Mpa) | m | |
|---|--------|--------|
| | B500SD | B400SD |
| 25 | 12 | 15 |
| 30 | 10 | 13 |
| 35 | 9 | 12 |
| 40 | 8 | 11 |
| 45 | 7 | 10 |
| 50 | 7 | 10 |

Tabla 25. Valor de m.

Ø es el diámetro de la barra en centímetros, cm.
f_{yk} es el límite elástico garantizado del acero en N / mm².



La longitud práctica de anclaje, denominada Longitud Neta de Anclaje ($l_{b, neta}$) se obtiene a partir de la longitud básica de anclaje, teniendo en cuenta el tipo de anclaje y la cuantía de armadura dispuesta en la sección a partir de la cual se efectúa el anclaje. Su expresión es la siguiente:

$$l_{b, neta} = l_b \beta \geq \frac{A_s}{A_{s, real}}$$

A_s , área estricta de armadura, necesaria por razones de cálculo.

$A_{s, real}$, área de la armadura colocada en la sección.

Beta, es el parámetro que tiene en cuenta el tipo y forma de trabajo del anclaje, su valor viene dado en la siguiente tabla.

| Tipo de anclaje | Tracción | Compresión |
|-------------------------------|----------|------------|
| Prolongación recta | 1 | 1 |
| Patilla, gancho y gancho en U | 0.7 * | 1 |
| Barra transversal soldada | 0.7 | 0.7 |

Tabla 26. Anclajes.

*Si el recubrimiento de hormigón perpendicular al plano de doblado es superior a 3ϕ . En caso contrario $B = 1$.

Además de la prolongación recta, el gancho, el gancho en U, la patilla y la barra transversal soldada, se permite efectuar el anclaje de las armaduras por cualquier otro procedimiento mecánico garantizado mediante ensayos, siempre que sea capaz de asegurar la transmisión de esfuerzos al hormigón sin peligro para éste.

Los tipos de anclaje para barras corrugadas, son los que se muestran en la tabla siguiente.

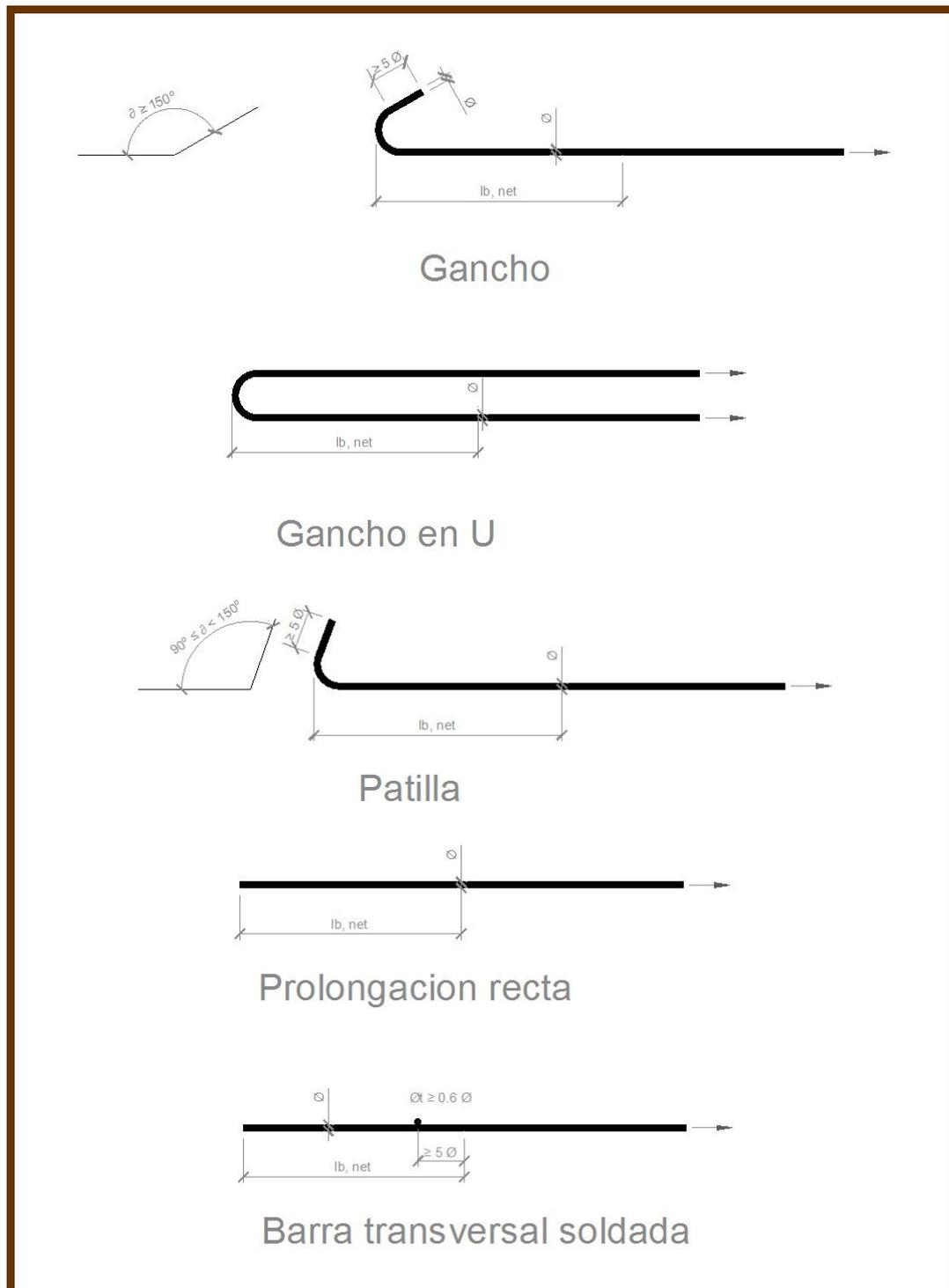
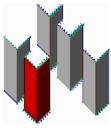
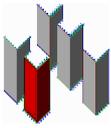


Tabla 26. Tipos de anclaje para barras corrugadas

Reglas especiales para el caso de grupos de barras.

Se llama grupo de barras a dos o más barras corrugadas puestas en contacto.



Se permite colocar, como armadura principal, grupos de hasta 3 barras. No obstante, en elementos comprimidos hormigonados en posición vertical sin empalmes de armadura, se permite la colocación de grupos de hasta 4 barras. En las zonas de solapo, el número máximo de barras en contacto en el empalme será de 4.

El diámetro del grupo de barras (Ø grupo), definido como el de la sección circular de área equivalente a la suma de las áreas de cada barra individual, no será mayor a 50 mm, salvo en piezas comprimidas en posición vertical que se limita a los 70 mm.

$$(\varnothing_{\text{grupo}} = \sqrt{\sum_1^n \varnothing^2})$$

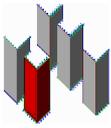
En la siguiente tabla, se muestra, para cada diámetro nominal de las barras corrugadas, el diámetro equivalente para grupos de 2, 3 y 4 barras

| Barra individual | | | | | | | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Ø barra | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 |
| Grupo de 2 barras | | | | | | | | | | |
| Ø grupo | 8.5 | 11.3 | 14.1 | 17 | 19.8 | 22.6 | 28.3 | 35.3 | 45.3 | 56.6* |
| Grupo de 3 barras | | | | | | | | | | |
| Ø grupo | 10.4 | 13.9 | 17.3 | 20.8 | 24.2 | 27.7 | 34.6 | 43.3 | 55.4* | 69.3* |
| Grupo de 4 barras | | | | | | | | | | |
| Ø grupo | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 40 | 50 | 64* | - |

Tabla 27. Diámetro equivalente para grupos de barras.

*Sólo válido para elementos comprimidos hormigonados en posición vertical sin empalmes de armaduras.

Se recomienda que el anclaje de grupos de barras siempre que sea posible se efectúe por prolongación recta.



Cuando todas las barras del grupo dejan de ser necesarias en la misma sección E, la longitud de anclaje de las barras será como mínimo igual:

- $1,3 l_b$ para grupos de 2 barras
- $1,4 l_b$ para grupos de 3 barras
- $1,6 l_b$ para grupos de 4 barras

Contadas a partir de la sección E, siendo l_b la longitud básica de anclaje de una barra aislada.

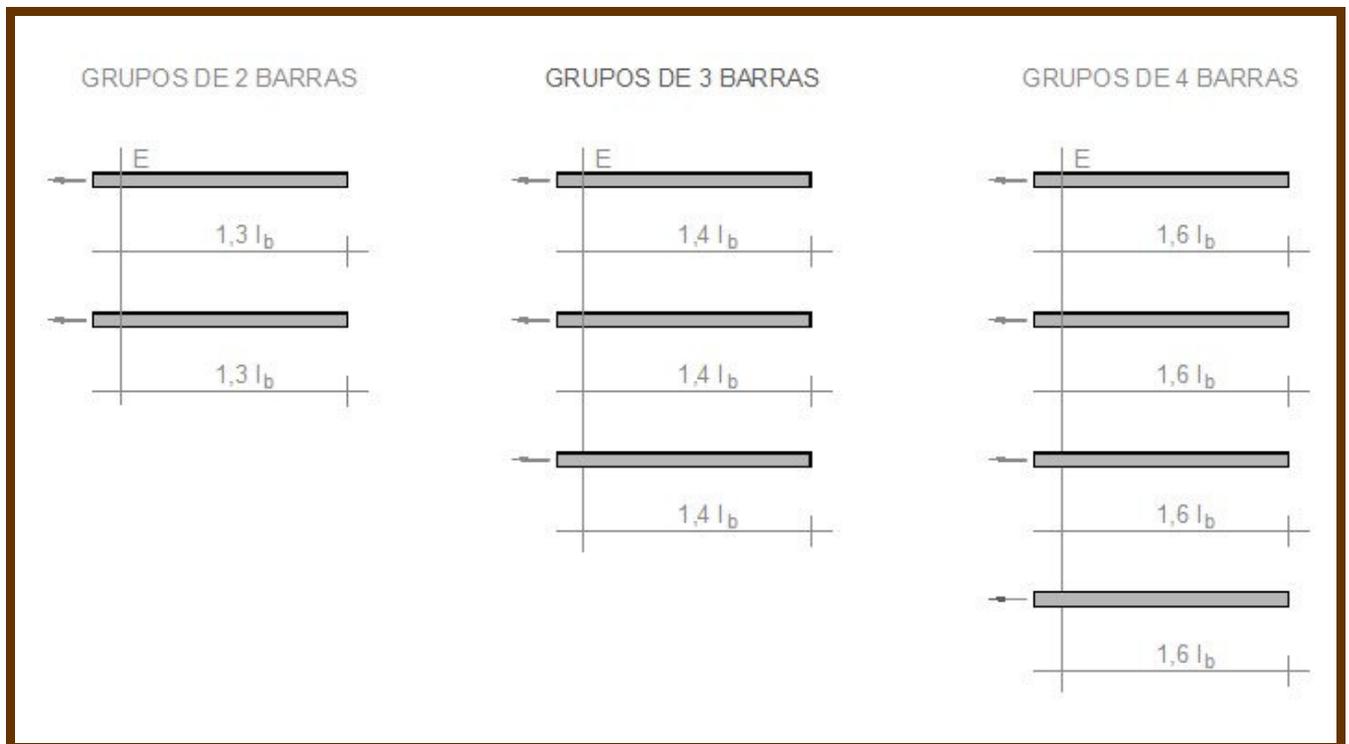
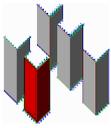


Tabla 28. Longitud de anclaje de grupos de barras que dejan de ser necesarias en la misma sección.

Sin embargo, si las barras del grupo dejan de ser necesarias en secciones diferentes, E, a cada barra se le dará la longitud de anclaje que le corresponda según el siguiente criterio:



GRUPOS DE 2 BARRAS

- l_b para una de las barras del grupo, a partir de la sección E.
- $1,2 l_b$ para la otra barra del grupo, a partir de la sección E.

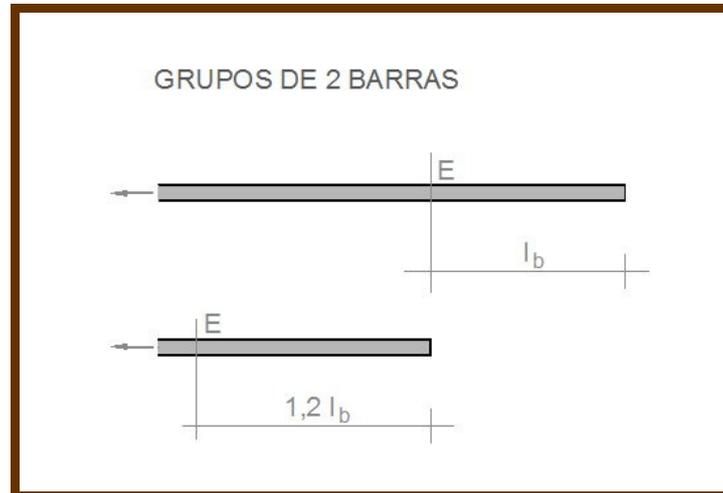


Tabla 29. Longitud de anclaje de grupos de 2 barras que dejan de ser necesarias en secciones diferentes.

GRUPOS DE 3 BARRAS

- l_b para una de las barras del grupo, a partir de la sección E.
- $1,2 l_b$ para la segunda barra del grupo, a partir de la sección E.
- $1.3 l_b$ para la tercera barra del grupo, a partir de la sección E.

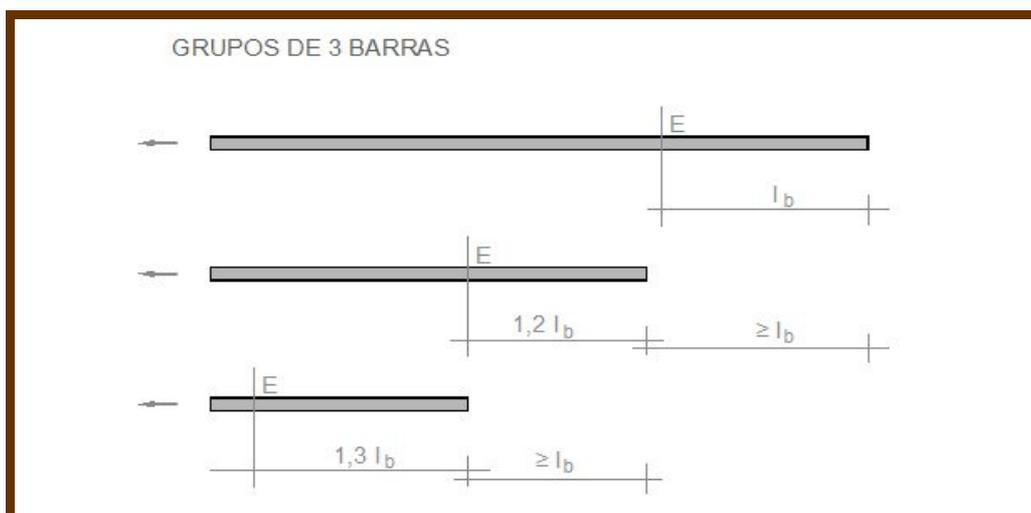
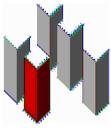


Tabla 29. Longitud de anclaje de grupos de 3 barras que dejan de ser necesarias en secciones diferentes.



GRUPOS DE 4 BARRAS

- l_b para una de las barras del grupo, a partir de la sección E.
- $1.2 l_b$ para la segunda barra del grupo, a partir de la sección E.
- $1.3 l_b$ para la tercera barra del grupo, a partir de la sección E.
- $1.4 l_b$ para la cuarta barra del grupo, a partir de la sección E.

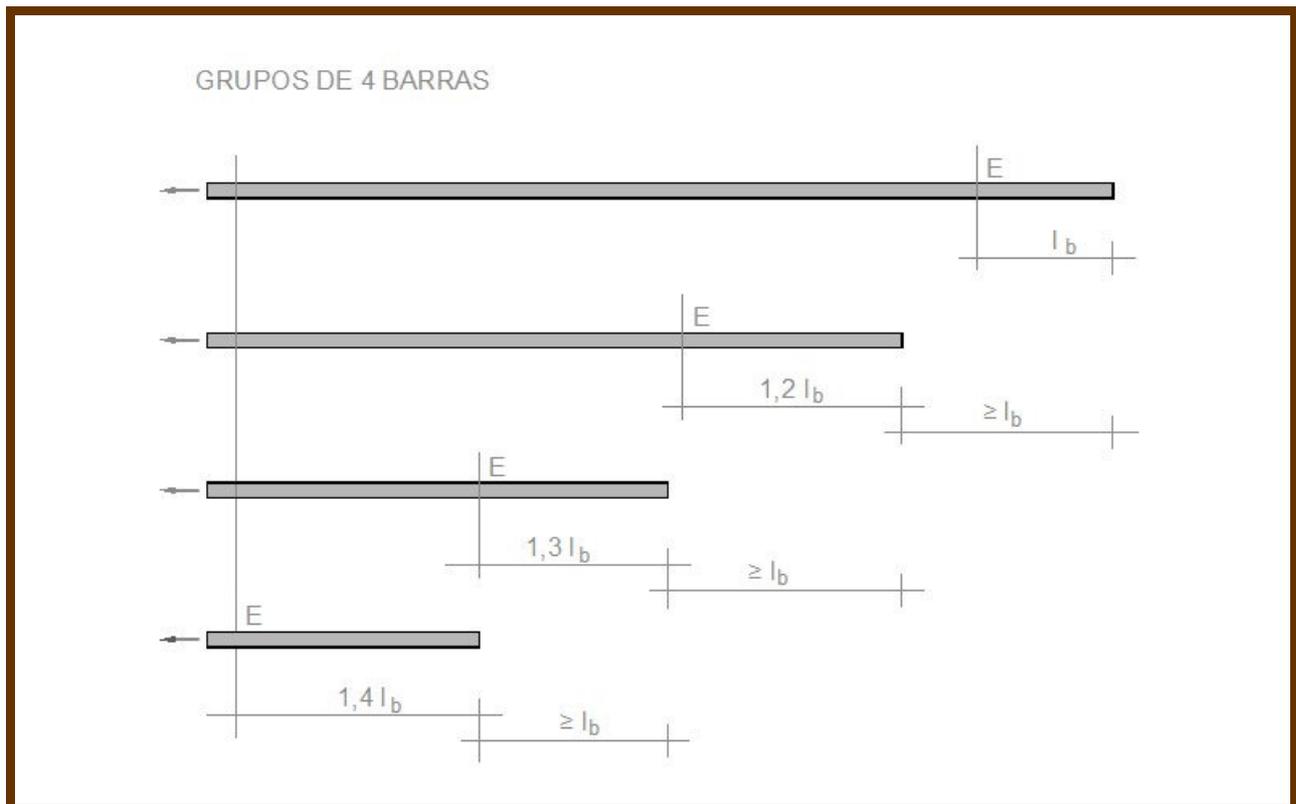
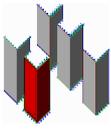


Tabla 30. Longitud de anclaje de grupos de 4 barras que dejan de ser necesarias en secciones diferentes.

Teniendo en cuenta que, en ningún caso los extremos finales de las barras pueden distar entre sí menos de la longitud básica de anclaje (l_b), independientemente de que el grupo lo formen 2, 3 ó 4 barras.

Anclaje de mallas electrosoldadas.

La Longitud Neta de Anclaje de las mallas electrosoldadas se determinará de acuerdo con la fórmula:



$$l_{b,neta} = l_b \frac{A_s}{A_{s,real}}$$

Si en la zona de anclaje existe al menos una barra transversal soldada, la longitud neta de anclaje se reducirá en un 30 por 100.

La longitud neta de anclaje no puede ser en ningún caso (barras corrugadas aisladas, grupos de barras y mallas electrosoldadas) inferior a:

- $10\varnothing$
- 150 mm.
- $1/3 l_b$, en caso de barras traccionadas.
- $2/3 l_b$, en caso de barras comprimidas.

En el caso de existir efectos dinámicos, estas longitudes de anclaje se aumentarán en $10 \varnothing$.

5.4.2- Empalme de armaduras pasivas.

Los empalmes de las armaduras pasivas pueden realizarse por solapo o por soldadura. Se admiten otros tipos de empalme siempre que los ensayos efectuados con ellos, demuestren que la resistencia a la rotura no es inferior a la de la menor de dos barras empalmadas.

El empalme, debe diseñarse de forma que quede asegurada la transmisión de fuerzas entre las barras, sin que se produzcan daños en el hormigón próximo a la zona de empalme. Se recomienda alejar los empalmes de las zonas en que la armadura trabaja a su máxima carga.

Sólo se dispondrán los empalmes indicados en los planos y los autorizados por la Dirección de Obra.

Como norma general, la distancia mínima entre centros de empalmes de barras en tracción, medidos en la dirección de las armaduras, será mayor o igual que l_b .

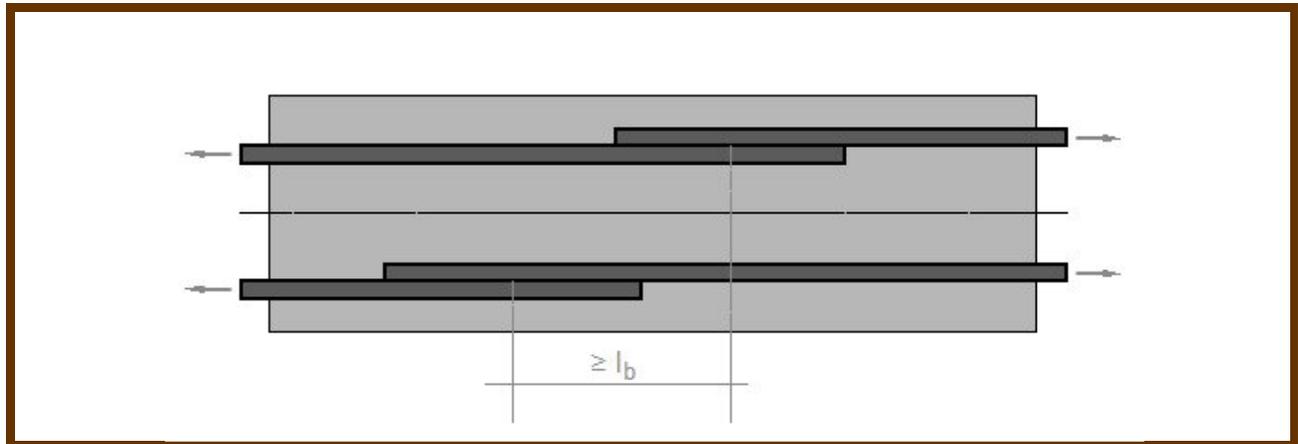
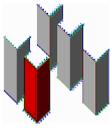


Tabla 31. Distancia entre centros de 2 empalmes consecutivos de barras en tracción.

Empalmes por solapo de barras aisladas.

Este tipo de empalmes se realiza colocando las barras una al lado de la otra, y dejando una separación libre entre ellas:

- a) ≥ 20 mm.
- b) $\leq 4 \varnothing$
- c) \geq diámetro de la barra mayor que se empalma.
- d) ≥ 1.25 veces el tamaño máximo del árido.

Se admite una desviación de la distancia entre ejes de barras consecutivas no mayor de ± 24 sin exceder:

$$\pm \frac{\text{d ejes de barras}}{4}$$

El valor mínimo, debe cumplir con lo establecido:

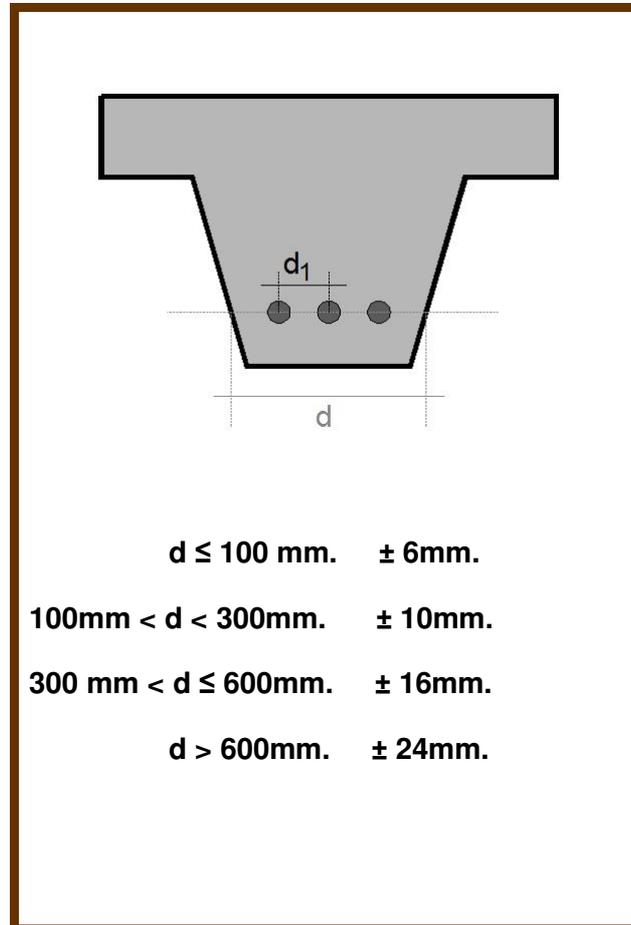
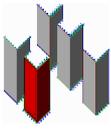


Tabla 31. Desviación en sentido transversal entre ejes de barras consecutivas.

Las separaciones se establecen con objeto de permitir el correcto hormigonado de la pieza, el acceso de los vibradores internos y la adherencia total de las barras o grupos de barras con el hormigón, y son de aplicación a obras ordinarias hormigonadas in situ.

En cualquier caso, es preciso colocar una armadura transversal, con sección igual o superior al área de la mayor barra solapada para resistir las tracciones que se producen en el hormigón por efecto de la transmisión de fuerzas entre barras en la zona de solapo.

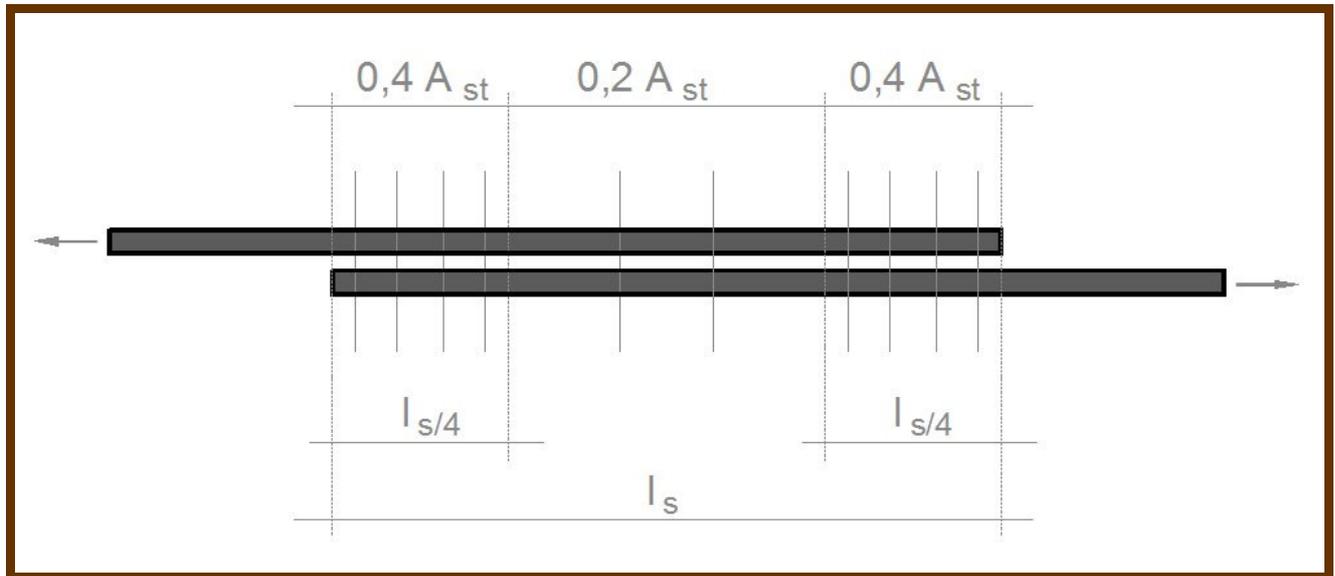
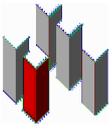


Tabla 32. Solapo de barras en tracción.

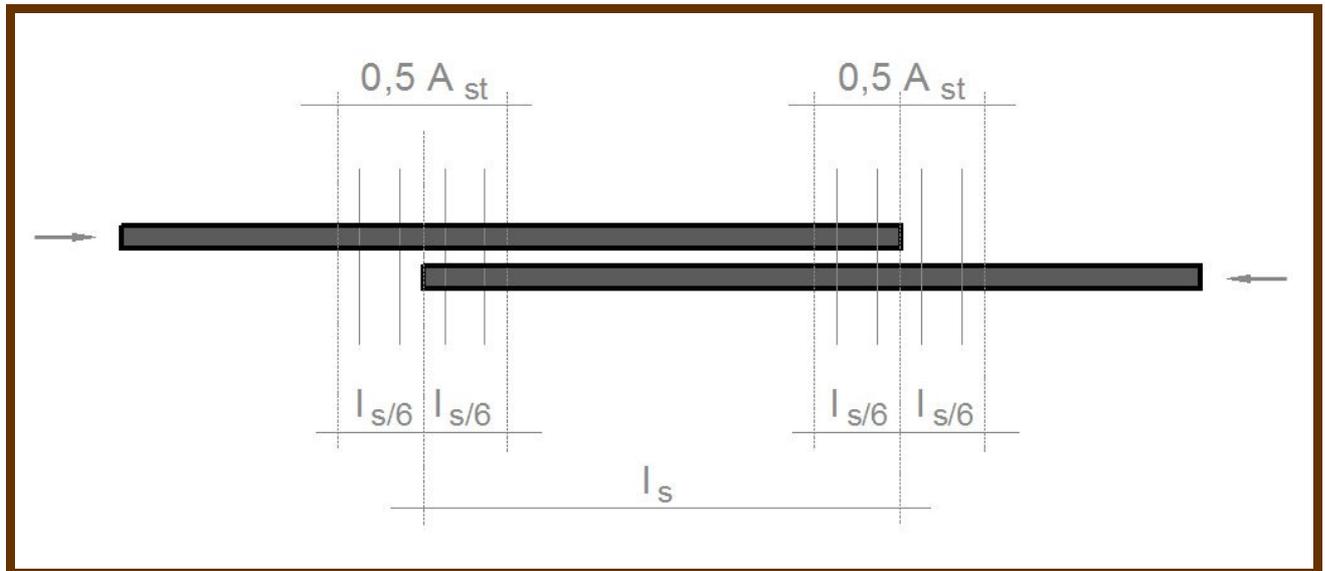
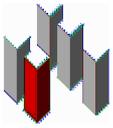


Tabla 33. Solapos barras en compresión.

La longitud de solapo, l_s , viene dada por la fórmula siguiente:

$$l_s = \alpha l_{b, \text{neta}}$$



α , es un coeficiente definido en la tabla siguiente, que depende del porcentaje de armadura solapada en una sección respecto al área total de acero en esa misma sección, de la distancia transversal entre centros de empalmes consecutivos y del tipo de esfuerzo de la barra.

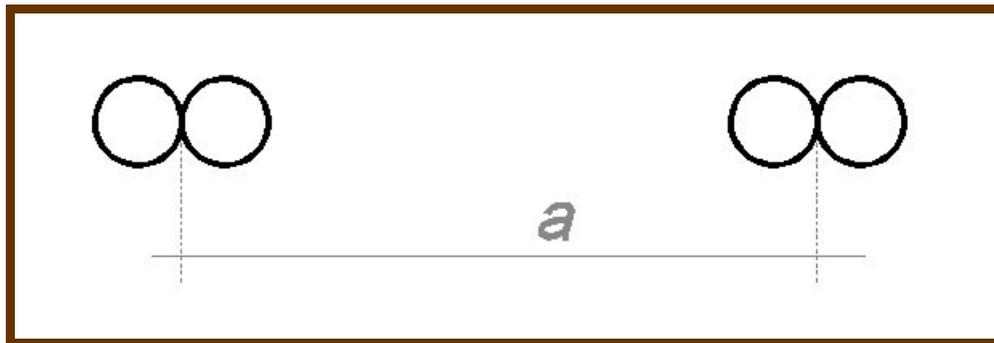


Tabla 33. Parámetro a

| Distancia entre los empalmes más próximos. | Porcentaje de barras solapadas trabajando a tracción, con relación a la sección total del acero. | | | | | Barras solapadas trabajando normalmente a compresión en cualquier porcentaje. |
|--|--|-----|-----|-----|-----|---|
| | 20 | 25 | 33 | 50 | >50 | |
| $a \leq 10\varnothing$ | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 1.0 |
| $a > 10 \varnothing$ | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.0 |

Tabla 34. Valores de α

Empalmes por solapo de grupos de barras.

En este tipo de empalme, se añade al grupo de barras una suplementaria, de diámetro igual a la mayor de las que forman el grupo, que abarca toda la zona afectada por el empalme.

Para efectuar el empalme cada barra del grupo se coloca enfrentada a tope con aquella que va a empalmar. La separación entre empalmes consecutivos y la prolongación de la barra suplementaria más allá de los empalmes extremos es de 1.2 lb ó 1.3 lb según sean grupos de dos o tres barras respectivamente.

Se prohíbe el empalme por solapo en los grupos de 4 barras.

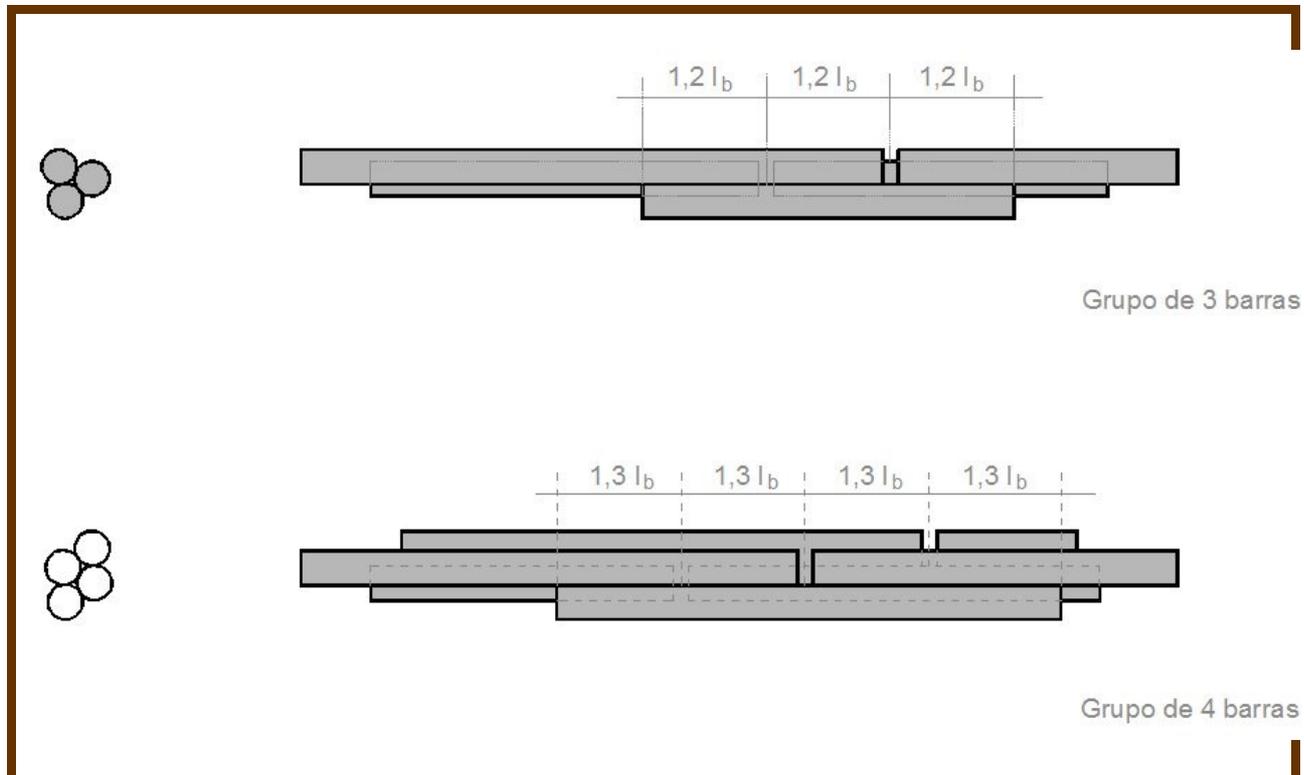
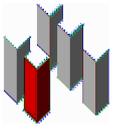


Tabla 35. Empalme por solape de grupos de 3 o 4 barras.

Empalmes por solape de mallas electrosoldadas.

Se consideran dos posiciones de solape, según la disposición de las mallas, si es acoplada, superpuesta o en capas.

- a) Solape de mallas electrosoldadas acopladas.

Al igual que en barras aisladas, la longitud de solape se obtiene como el producto de α lb neta. Si las cargas son predominantemente estáticas se puede solapar el 100 por 100 de la armadura en la misma sección; si son dinámicas sólo se permite el solape del 100 por 100, Siempre que toda la armadura esté dispuesta en una capa; y del 50 por 100 en caso contrario. En este último caso, los solapos se distanciarán entre sí como mínimo la longitud l_b neta, medida en la dirección de las armaduras.

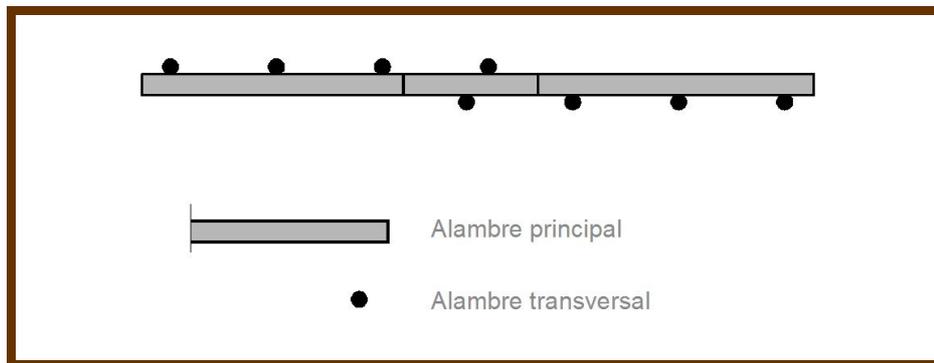
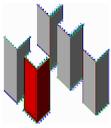


Tabla 36. Empalme por solape de mallas electrosoldadas acopladas.

b) Solape de mallas electrosoldadas superpuestas o en capas.

La longitud de solape es de $1.7lb$ siempre que la separación entre elementos solapados sea superior a $10\varnothing$, y de $2.4lb$ cuando sea inferior a $10\varnothing$.

En todo caso, se establece la longitud mínima e solape no inferior al mayor de los siguientes valores:

- $15\varnothing$
- 200 mm.

Con independencia del tipo de solape a realizar en las mallas electrosoldadas, este se situará, en zonas donde las tensiones de la armadura no superen el 80% de las máximas posibles.

La proporción de elementos solapados puede ser del 100 por 100 de la armaduras si se dispone una sola capa de mallas y del 60 por 100 si se disponen barras dobles de $\varnothing > 8,5$ mm, o varias capas de mallas. En este último caso la distancia mínima entre solapos será de $1.5lb$.

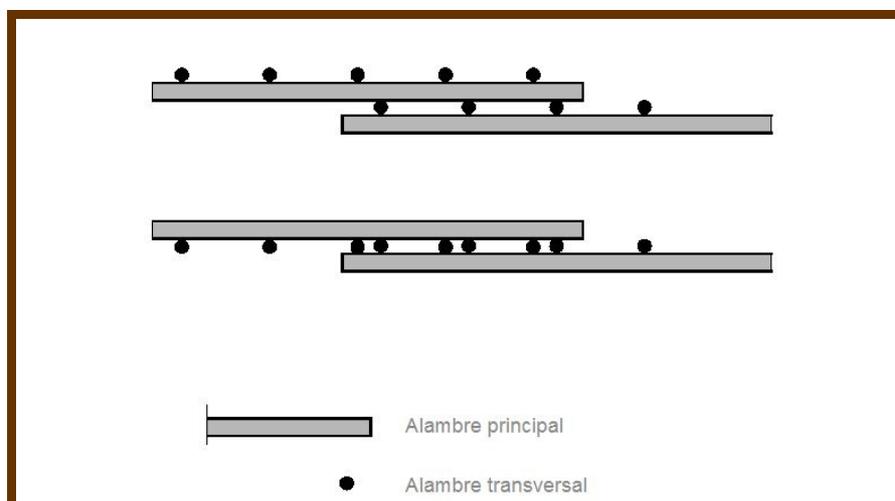
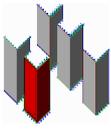


Tabla 37. Empalme por solape de mallas electrosoldadas superpuestas o en capas.



Empalmes por soldadura.

Las superficies a soldar tienen que estar secas y libres de todo material que pudiera afectar a la calidad de la soldadura.

En periodos de intenso viento, cuando esté lloviendo o nevando, no se efectuará ningún tipo de soldadura, a menos que se adopten las debidas precauciones, como la disposición de pantallas o cubiertas protectoras y, se proteja adecuadamente la soldadura, para evitar un enfriamiento rápido.

Bajo ninguna circunstancia se llevará a cabo una soldadura sobre una superficie que encuentre a una temperatura igual o inferior a 0°C inmediatamente antes de soldar.

No se permite la disposición de empalmes por soldadura en los tramos del trazado con fuerte curvatura de las armaduras.

La soldadura a tope de barras de distinto diámetro puede realizarse siempre que la diferencia de diámetros sea inferior a 3mm.

5.5- Uniones soldadas.

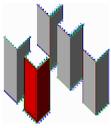
La Instrucción EHE autoriza el uso de la técnica de soldadura para la elaboración de la ferralla siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- El acero sea soldable.
- La operación se realiza de acuerdo con los procesos establecidos en la Norma UNE 36832:1997 y se efectúa en un taller con instalación industrial fija.

Únicamente se admite la soldadura en obra para la elaboración de la ferralla en los casos previstos en el Proyecto y debidamente autorizados por la Dirección de Obra.

Independientemente de las consideraciones específicas para cada proceso de soldadura deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos previos:

- Las superficies a soldar han de estar correctamente preparadas y libres de óxido, humedad, grasa o cualquier tipo de suciedad.
- Las barras a unir no pueden encontrarse en la zona de soldadura a una temperatura igual o inferior a 0°C y deben protegerse para evitar un rápido enfriamiento después de la soldadura.



- No se deben realizar soldaduras bajo condiciones climatológicas adversas tales como lluvia, nieve o con vientos intensos. En caso de necesidad se pueden utilizar pantallas o elementos similares.
- Se deben guardar las mismas precauciones tanto si las uniones son resistentes como si no lo son. Los parámetros de soldeo y los procesos de soldadura en ausencia de otras instrucciones son los mismos en uno y otro caso.
- La disposición de las armaduras a soldar ha de ser la correcta de acuerdo con la configuración del proyecto debiendo garantizarse la suficiente accesibilidad a las mismas.
- Las superficies a soldar deben prepararse adecuadamente según las condiciones de cada tipo de unión y situar las barras en la posición adecuada de forma que la accesibilidad sea la correcta para ejecutar la soldadura.

5.5.1-Clases de uniones soldadas.

Uniones soldadas resistentes

Son aquellas que transmiten esfuerzos en las uniones entre armaduras o entre armaduras y perfiles metálicos y por tanto, deben tenerse en cuenta en los cálculos. Estos tipos de uniones pueden trabajar tanto en tracción como en compresión.

Uniones soldadas no resistentes

Son las que sujetan armaduras pasivas entre sí o con otros perfiles metálicos, con el único propósito de atarlas. La capacidad de estas soldaduras para transmitir esfuerzos no debe considerarse en los cálculos, aunque ha de ser suficiente para resistir los esfuerzos producidos en el transporte y montaje. Este tipo de unión es el más común en ferralla.

5.5.2-Tipos de uniones soldadas.

Unión a tope

Es de aplicación generalmente a uniones resistentes y a barras alineadas axialmente de diámetros comprendidos entre 16 y 30 mm. Las barras a unir pueden ser de diámetros distintos siempre que la diferencia entre ellos sea inferior a 3 mm y sean coaxiales.

Tiene la ventaja de ocupar poco espacio, aunque requiere preparación de bordes y su ejecución se ha de efectuar sobre una mesa de soldeo.

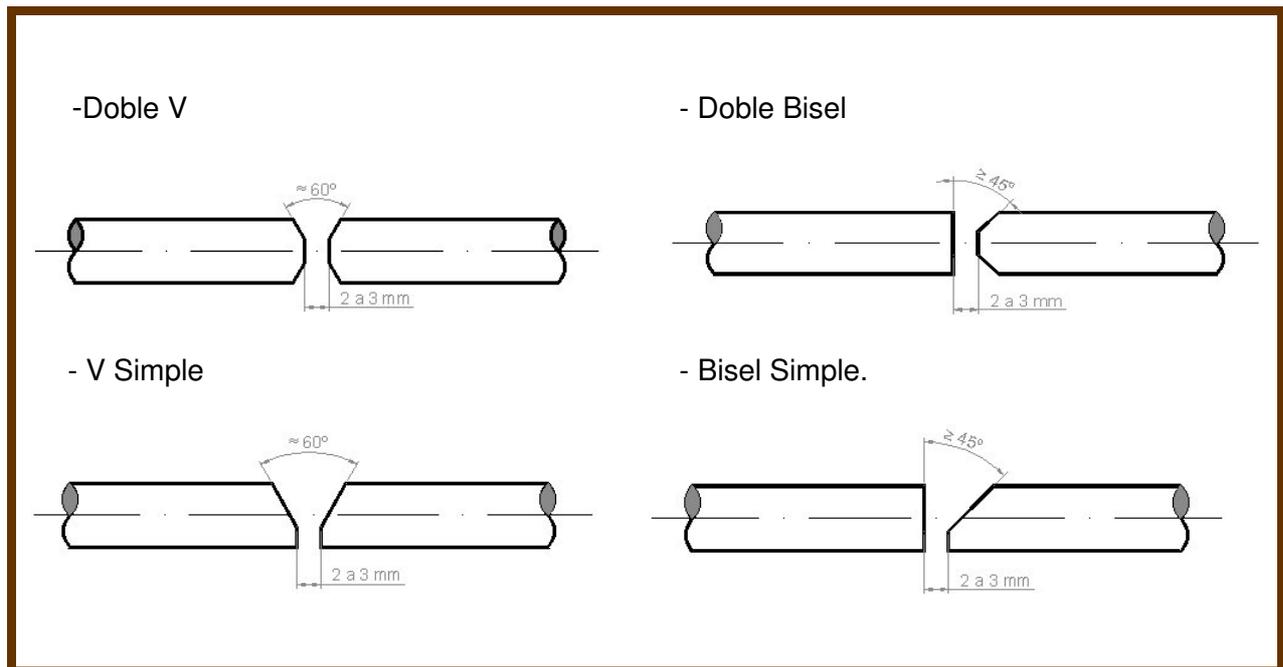
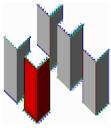


Tabla 38. Uniones soldadas a tope.

Unión por solape

Es de aplicación tanto a uniones resistentes como no resistentes. En el caso de que el plano que contenga a los ejes de las barras sea perpendicular a la cara de la pieza de la estructura y su diámetro sea superior a 20 mm, la longitud total de solape no debe ser inferior a $15\varnothing$.

Las barras deben estar en contacto en la zona de unión.

Este tipo de unión introduce ciertos esfuerzos transversales que son fácilmente absorbidos por el hormigón y los estribos en la mayoría de los casos.

Presenta la ventaja de una ejecución más fácil y requiere sólo el acceso del soldador por un lado, siendo habitual su empleo en soldaduras de empalme de piezas prefabricadas.

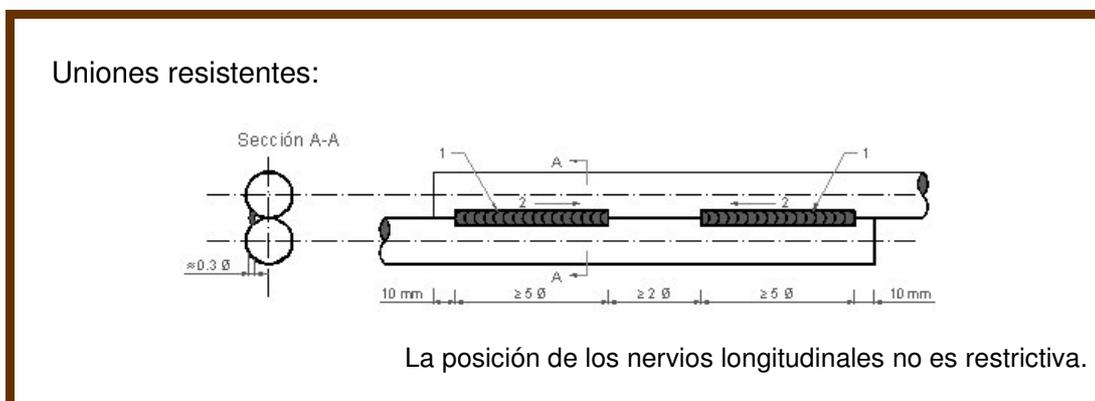


Tabla 39. Uniones por solape. Resistentes.

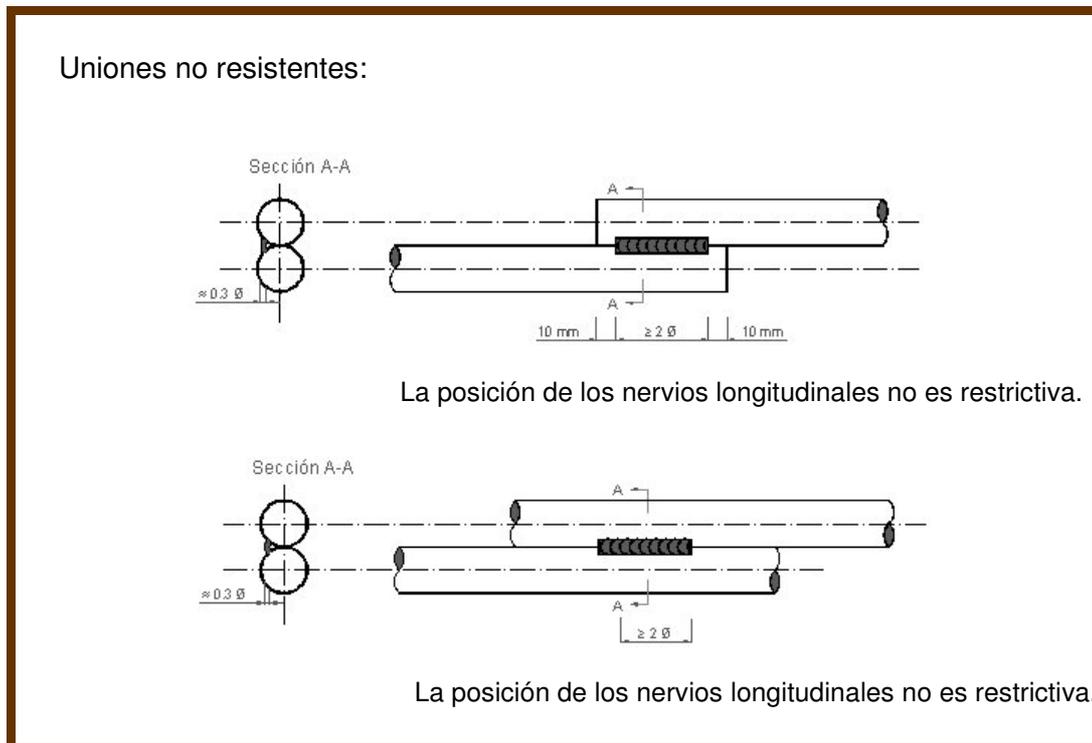
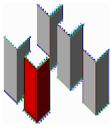


Tabla 40. Uniones por solape. No Resistentes.

\emptyset es el diámetro nominal de la menor de las barras que se están uniendo.

Unión con cubrejunta

Al igual que la unión a tope, la realizada mediante cubrejunta no es de aplicación, en principio si la unión no es resistente.

Los cubrejuntas utilizados para estas uniones deben realizarse a partir de barras para armaduras. La sección con junta de ambos cubrejuntas debe ser, al menos, igual a la de las barras a unir, siempre que sean de las mismas características mecánicas. En caso contrario, ha de realizarse una corrección de la sección en función de la relación entre los respectivos límites elásticos A si mismo, la capacidad mecánica de la sección de los dos cubrejuntas debe ser igual o mayor que la de las barras que se empalman.

El proceso de ejecución es análogo al del solape excéntrico, pero con menor excentricidad, y requiere el acceso del soldador únicamente por un solo lado.

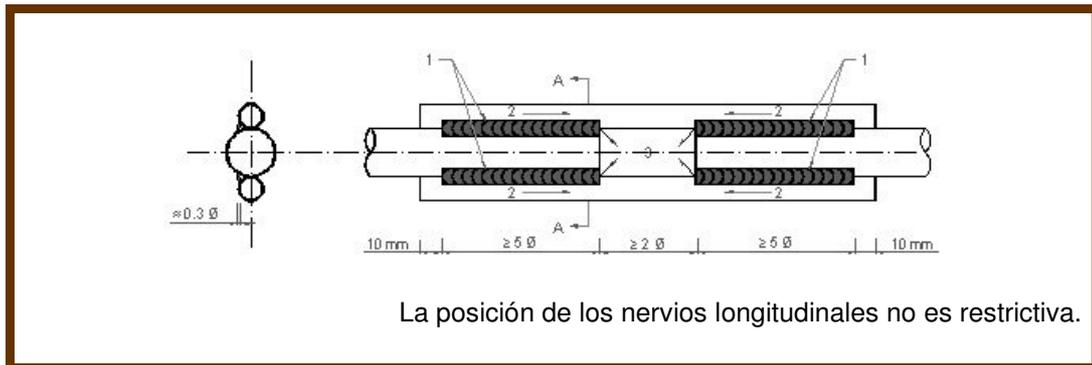
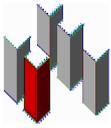


Tabla 41. Uniones con cubrejunta.

Unión en cruz

Puede ser resistente o no resistente, y se realiza de acuerdo con lo indicado.

En las uniones en cruz no resistentes es esencial que el proceso no produzca ni reducción apreciable de la sección de las barras ni merma de sus características mecánicas y de ductilidad.

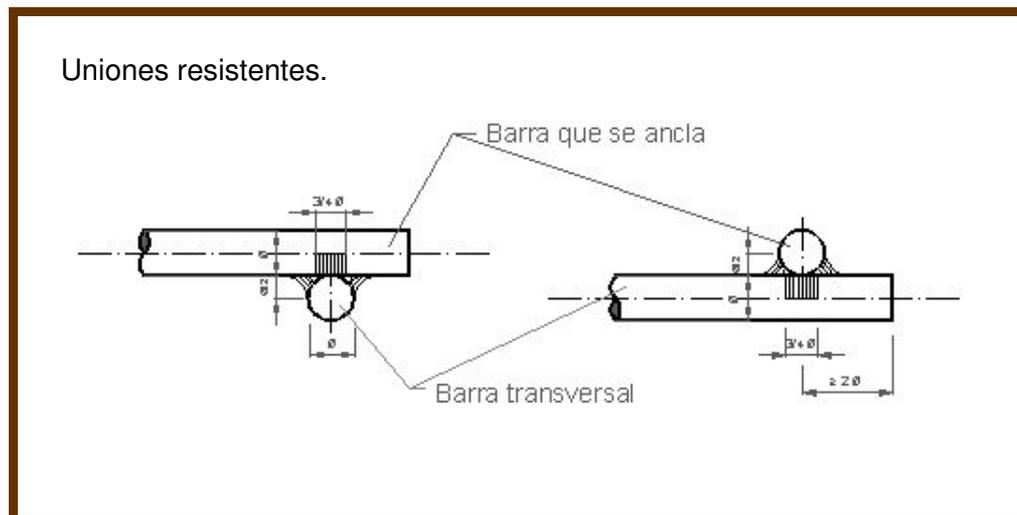


Tabla 42. Uniones en cruz. Resistentes.

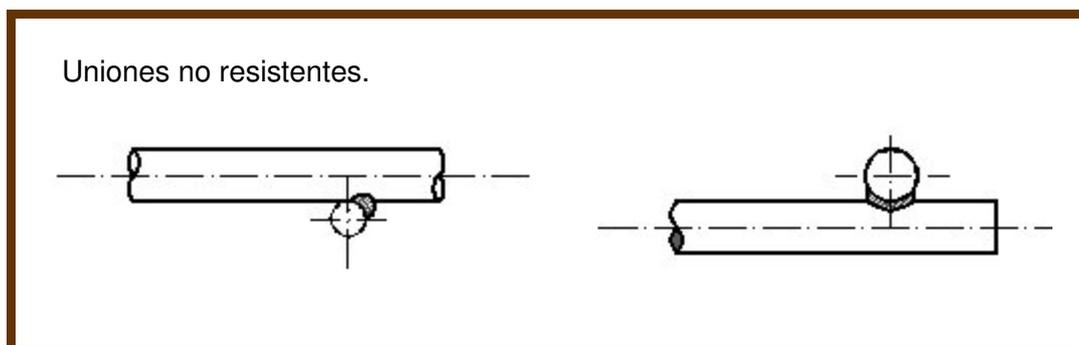
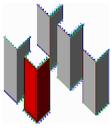


Tabla 43. Uniones en cruz. No Resistentes.



5.5.3- Validación del proceso de soldadura.

Cuando se utilice como sistema de atado la soldadura, se validará trimestralmente el procedimiento de soldadura utilizado conforme a los criterios que se indican en el apartado 7.1 de la norma UNE 36832, que se resumen a continuación.

-Uniones en cruz.

La más habitual en talleres de ferralla.

La validación se efectuará sobre la combinación resultante del diámetro más grueso y más fino de los que se vayan a unir.

Para ello se prepararán tres probetas, ensayando a tracción el diámetro más fino y comprobando que no se produce una baja superior al 10% en la carga de rotura (f_s) y en el alargamiento de rotura ($\epsilon_{u, s}$) con respecto a la media determinada sobre tres probetas de ese mismo diámetro, procedentes de la misma barra que se haya utilizado para obtener las probetas soldadas, y en ningún caso por debajo del valor nominal.

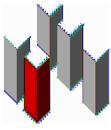
-Uniones por solape.

La validación se efectuará sobre dos combinaciones: entre los diámetros más gruesos a soldar, y entre el diámetro más fino y más grueso. Para cada combinación se prepararán tres uniones, y se someterán al ensayo de tracción. El resultado se considerará conforme, si la rotura se produce fuera de la zona de solape. En caso que la rotura se diera dentro de la zona soldada, el procedimiento se considerará válido si el valor de la carga de rotura (f_s) no presenta una baja superior al 10% con respecto a la media determinada sobre tres probetas del diámetro más fino, procedentes de la misma barra que se haya utilizado para obtener las probetas soldadas, y en ningún caso por debajo del valor nominal.

6.6- Optimización de Costes. Formas preferentes de Armado.

Según estudios realizados sobre el coste de armaduras colocadas en obra, estos tienden a las siguientes proporciones:

- Coste de acero 52%
- Coste de planos, despiece y etiquetado 8%
- Coste de elaboración y colocación 40%



Todo indica, que el proyecto, a través de la simplificación del armado, puede actuar prácticamente, sobre el 50% del coste. A continuación se enumeran algunas recomendaciones para la reducción de costes:

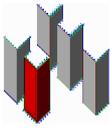
- Emplear acero del mayor límite elástico posible. La reducción de kilos que con ello se consigue es más fuerte que el incremento del coste unitario del acero.
- Emplear el menor número de barras y el mayor diámetro posible. Además de reducir el coste de elaboración, permitirá facilitar el hormigonado y la compactación.
- Emplear el menor número posible de diámetros. Así se reduce el coste de almacenamiento en taller, se facilitan las operaciones de corte, doblado, se simplifica el tipo de electrodos a emplear, el número de separadores diferentes, etc.
- Emplear siempre que sea posible, las formas preferentes de armado según la Norma UNE 36831 (Capítulo 8), y que se ven a continuación.
- Evitar conseguir falsas economías reduciendo solo el número de kilos de armadura necesarios, a base de utilizar muchas barras de muchos diámetros diferentes. Con ello sólo se consigue una economía de kilos pero no de "coste".
- Optimizar el armado, basándose en la repetición de pocas formas sencillas.
- Optimizar es reducir el coste, no el número de kilos.

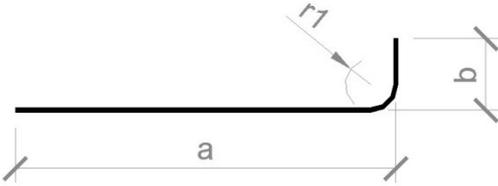
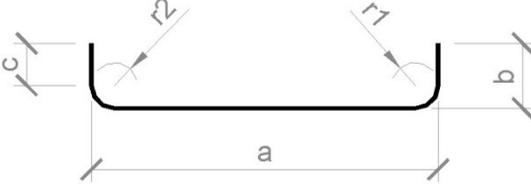
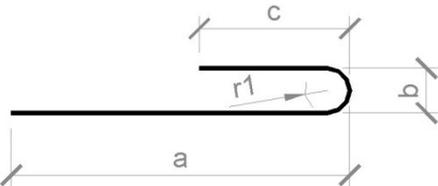
Muchos de los conceptos expuestos, conducen a una optimización de costes a través de una racionalización del armado.

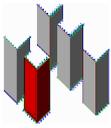
Sin embargo, los progresos más importantes se producen a través de la industrialización del proceso de elaboración de la ferralla.

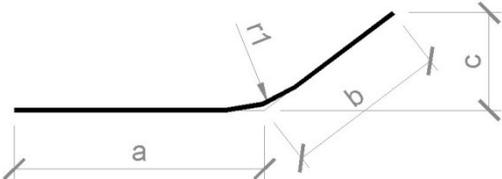
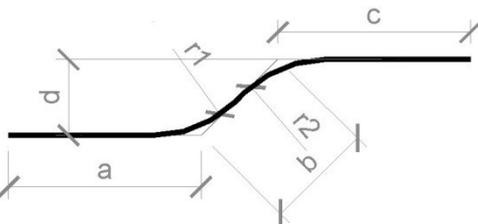
Una manera de optimizar el coste de las armaduras es mediante la racionalización de los esquemas de armado, por la simplificación y repetición de formas.

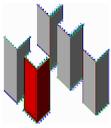
Es conveniente que la longitud total de corte de las barras sea múltiplo de 50mm., así como unificar las longitudes de las barras pertenecientes a elementos semejantes que vayan a montarse en el mismo periodo de tiempo, siempre que difieran menos de 200mm. A continuación, se muestra un esquema de las formas preferentes de armado, que cubren la mayoría de necesidades prácticas.

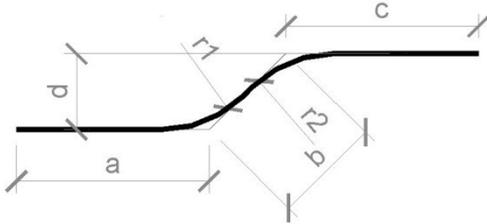
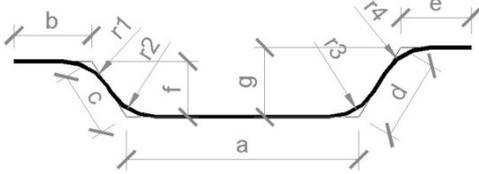
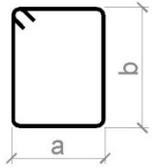
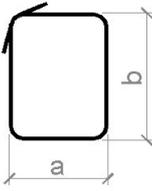


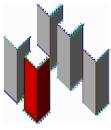
| Código de forma | Forma y Clave (Código - Ø - a-b-c-d-e-r1-r2) |
|-----------------|--|
| 01* |  <p>(01 - Ø-a)</p> |
| 02* |  <p>(02 - Ø-a-b-r1)</p> |
| 03* |  <p>(03 - Ø-a-b-c-r1-r2)</p> |
| 04 |  <p>(04 - Ø-a-b-c-r1)</p> |



| Código de forma | Forma y Clave (Código - Ø - a-b-c-d-e-r1-r2) |
|-----------------|--|
| 05 |  <p>(05 - Ø-a-b-c-r1)</p> |
| 06* |  <p>(06 - Ø-a-b-c-r1-r2)</p> |
| 07* |  <p>(07 - Ø-a-b-c-r1-r2)</p> |
| 08* |  <p>(08 - Ø-a-b-c-d-r1-r2)</p> |



| Código de forma | Forma y Clave (Código - Ø - a-b-c-d-e-r1-r2) |
|-----------------|---|
| 09 |  <p>(09 - Ø-a-b-c-d-e-r1-r2)</p> |
| 10 |  <p>(10 - Ø-a-b-c-d-e-f-g-r1-r2-r3-r4)</p> |
| 11 |  <p>(11 - Ø-a-b)</p> |
| 12 |  <p>(12 - Ø-a-b)</p> |



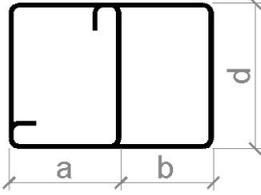
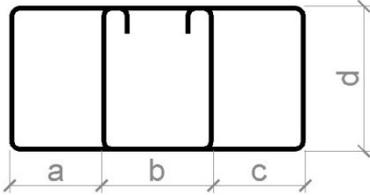
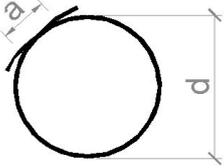
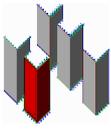
| Código de forma | Forma y Clave (Código - Ø - a-b-c-d-e-r1-r2) |
|-----------------|--|
| 13 |  <p>(13 - Ø-a-b-d)</p> |
| 14 |  <p>(14 - Ø-a-b-c-d)</p> |
| 15 |  <p>(15 - Ø-a-d)</p> |

Tabla 44. Formas preferentes de armado.

* Las estructuras de edificación, pueden proyectarse con el uso exclusivo de las siete formas con *.



6-CONTROL

6.1-La Trazabilidad.

La conformidad de la estructura requiere de la consecución de una trazabilidad adecuada de los productos de acero utilizados.

La trazabilidad es la identificación del acero a través de toda su realización, desde que es barra o rollo hasta que es una armadura elaborada y se coloca en obra.

Ha de ser posible relacionar la ferralla, en cualquier estado de elaboración, con sus coladas de procedencia.

La trazabilidad del acero corrugado servido en barras y/o rollos se consigue en tres fases que son:

- Registrar las coladas a la recepción.
- Asignar las coladas en el corte y en estribos.
- Grabar las coladas al fin del proceso.

De forma que en cada pedido se archivan las coladas que han servido para su realización.

1.- Registrar las coladas a la recepción:

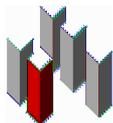
La primera fase consiste en la grabación de los datos en el sistema informático a la recepción del acero. Estos datos son: el número de colada, la fecha de entrada, el fabricante, el diámetro, la calidad y la presentación.

2.-Asignar las coladas en el corte y en estribos:

El acero conserva la placa del fabricante, en la que figura el número de colada, hasta el momento de abrir el paquete o rollo. Una vez abierto, los operarios de corte y estribado son responsables de conocer qué coladas están utilizando y de anotarlas en unas hojas de Trazabilidad que irán junto a las planillas de despiece.

Las Hojas de Trazabilidad se envían al departamento de calidad para su grabación informática.

3.-Grabar las coladas al fin del proceso:

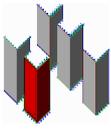


Finalmente, utilizando las hojas recibidas, en las que figuran las coladas utilizadas, se graban los números de coladas de cada grupo usando un sistema informático. El ordenador deberá asociar a cada grupo o pedido las coladas utilizadas.

Como el elemento, desde la formación hasta la entrega, lleva una etiqueta de identificación de producto, la trazabilidad es así completa e ininterrumpida en todo el proceso.

Ejemplo de listado de trazabilidad de un pedido.

| LISTADO TRAZABILIDAD DE UN PEDIDO | | | | | | |
|--|-----------|-----------------------------------|-------------------------|----|--------|----------|
| Pedido: | | 0000220 Planta cuarta / Nervios | | | | |
| Obra: | | 000099 - c/ Mayor de la Ribera, 5 | | | | |
| Cliente: | | 0000003 - Cliente 3 | | | | |
| Fecha: | | 20/02/2009 | Página: | | 1 / 1 | |
| Ref. | C.Interno | Nº Colada | Fabricante | Ø | Tipo | Present. |
| 001 - Planta cuarta | | | | | | |
| 002 - Nervios | | | | | | |
| 00113 | 00113 | 002111354 | A.G. Siderúrgica Balboa | 8 | B500SD | Barra |
| 00115 | 00115 | 05200002 | Celsa | 12 | B500SD | Barra |
| 00119 | 00125 | 00023455 | Celsa | 16 | B500SD | Barra |
| 00120 | 00128 | 00513701 | Celsa | 10 | B500SD | Barra |
| 003 - Abacos | | | | | | |
| 00115 | 00115 | 05200002 | Celsa | 12 | B500SD | Barra |
| 00120 | 00128 | 00513701 | Celsa | 10 | B500SD | Barra |



6.2-Definiciones generales relacionadas con el control.

- Partida: cantidad de producto de la misma designación y procedencia contenido en una misma unidad de transporte (contenedor, cuba, camión, etc.) y que se recibe en el lugar destinado para su recepción.
- Remesa: conjunto de productos de la misma procedencia, identificados individualmente, contenidos en una misma unidad de transporte (contenedor, camión, etc.) y que se reciben en el lugar donde se efectúa la recepción.
- Acopio: cantidad de material o producto, procedente de una o varias partidas o remesas, que se almacena conjuntamente tras su entrada en la obra, hasta su utilización definitiva.
- Lote de material o producto: cantidad de material o producto que se somete a recepción en su conjunto.
- Lote de ejecución: parte de la obra, cuya ejecución se somete a aceptación en su conjunto
- Unidad de inspección: conjunto de las actividades, correspondientes a un mismo proceso de ejecución, que es sometido a control para la recepción de un lote de ejecución.

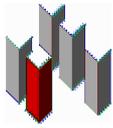
6.3-Principios generales del control.

La finalidad del control, es alcanzar un determinado nivel de garantía para el usuario, para ello durante el control se efectúan dos labores fundamentales:

- a) Identificar cada uno de los agentes intervinientes, que se materializa mediante un control documental y la exigencia de certificados firmados por persona física.
- b) La aplicación de criterios de control que permitan asumir el cumplimiento de las especificaciones establecidas en el proyecto. En el caso del acero para armaduras pasivas, estos controles son de tipo experimental a través de ensayos o de distintivos de calidad.

El control se dividirá en tres fases, de las que se va a desarrollar la primera, que es la que afecta al acero para armaduras pasivas y a las armaduras pasivas.

- Control de la conformidad de los productos que se suministran a la obra. (Control de recepción)
- Control de ejecución de la estructura.
- Control de la estructura terminada.



6.4-Control de conformidad de los productos. Control de recepción.

El objeto del **control de recepción**, es comprobar que el acero para armaduras pasivas y las armaduras pasivas, cumplen las exigencias establecidas en el proyecto. El control de recepción consta de dos fases:

- Un control de la documentación de las armaduras.
- Un control de las características de los productos, que puede realizarse mediante distintivos de calidad o mediante ensayos.

Cuando esté en vigor el marcado CE, la comprobación de su conformidad, se efectuará mediante la verificación de que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE permiten deducir el cumplimiento de las especificaciones indicadas en el proyecto, o en la Instrucción EHE-08.

En estos momentos, el marcado CE para aceros corrugados para hormigón y para armaduras normalizadas, no esta en vigor ni es obligatorio para su comercialización.

6.4.1-Control documental.

El taller de ferralla, esta obligado a aportar una determinada documentación en tres momentos diferentes del suministro:

Antes del suministro.

-Los documentos de conformidad o autorizaciones administrativas exigidas reglamentariamente.

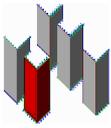
-En caso de que se esté en posesión de un DOR (distintivo de calidad oficialmente reconocido) se presentará una declaración firmada del Taller de Ferralla indicando que este se encuentra vigente en ese momento.

Durante el suministro.

-Las hojas de suministro de cada partida o remesa.

Después del suministro.

-Un certificado de garantía del producto suministrado, firmado por un representante del Taller de Ferralla.



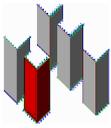
Se adjunta a continuación la documentación a aportar para cada producto.

Documentación mínima exigible a los aceros para hormigón.

| Documentación previa al suministro. | | |
|--|---|--|
| Con marcado CE obligatorio | Sin marcado CE obligatorio | |
| | Con DOR * | Sin DOR * |
| Documentación exigida por el marcado CE. | <ul style="list-style-type: none"> -Declaración del suministrador de estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido. -Declaración firmada por persona física con capacidad suficiente del documento que acredite estar en posesión de un distintivo de calidad. -Copia compulsada por persona física de los certificados que avalen que el distintivo de calidad esta oficialmente reconocido. -Certificado de homologación de adherencia, en su caso. | <ul style="list-style-type: none"> -Certificado de ensayo que garantice el cumplimiento de todas las especificaciones referidas en el artículo 32º de la instrucción EHE-08, emitido por un laboratorio acreditado o perteneciente a una Administración competente en materia de construcción. En él debe figurar el nombre del laboratorio y fecha de emisión. -Certificados de ensayos de fatiga y deformación alternativa emitido por un laboratorio acreditado o perteneciente a una Administración competente en materia de construcción, en el caso de aceros SD empleados en estructuras sometidas a fatiga o en zona sísmica. -Certificado de homologación de adherencia, en su caso. |
| Documentación durante el suministro. | | |
| Con marcado CE obligatorio. | Sin marcado CE obligatorio | |
| <ul style="list-style-type: none"> -Hoja de suministro. -Información adicional sobre consideraciones especiales. (p.e. proceso de soldadura específico...) | <ul style="list-style-type: none"> -Hoja de suministro. -Información adicional sobre consideraciones especiales. (p.e. proceso de soldadura específico...) -Declaración del fabricante del sistema de identificación (país, fabricante, tipo de acero) utilizado. | |
| Documentación después del suministro. | | |
| -Certificado de garantía final del producto suministrado. | | |

Tabla 45. Documentación mínima exigible a los aceros para hormigón.

* DOR distintivo de calidad con un reconocimiento oficial en vigor.

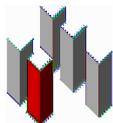


Documentación mínima exigible a armaduras normalizadas (mallas electrosoldadas y armadura básica)

| Documentación previa al suministro. | | |
|---|---|--|
| Con marcado CE obligatorio | Sin marcado CE obligatorio | |
| | Con DOR * | Sin DOR * |
| Documentación exigida por el marcado CE. | -Certificado de garantía del fabricante. -Declaración del suministrador de estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido. -Declaración firmada por persona física con capacidad suficiente del documento que acredite estar en posesión de un distintivo de calidad. -Copia compulsada por persona física de los certificados que avalen que el distintivo de calidad esta oficialmente reconocido. -Certificado de homologación de adherencia, en su caso. | -Certificado de garantía del fabricante. -Copia de la documentación relativa al acero para armaduras pasivas utilizado. |
| Documentación durante el suministro. | | |
| Con marcado CE obligatorio. | Sin marcado CE obligatorio | |
| -Hoja de suministro. | -Hoja de suministro. -Declaración del fabricante del sistema de identificación (país, fabricante, tipo de acero) utilizado. | |
| Documentación después del suministro. | | |
| -Certificado de garantía final del producto suministrado. | | |

Tabla 46. Documentación mínima exigible a armaduras normalizadas

* DOR distintivo de calidad con un reconocimiento oficial en vigor.



Documentación mínima exigible a las armaduras elaboradas y la ferralla armada.

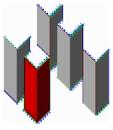
| Documentación previa al suministro. | |
|--|---|
| Con DOR * | Sin DOR * |
| <ul style="list-style-type: none"> -Declaración del suministrador de estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido. -Declaración firmada por persona física con capacidad suficiente del documento que acredite estar en posesión de un distintivo de calidad. -Copia compulsada por persona física de los certificados que avalen que el distintivo de calidad esta oficialmente reconocido. | <ul style="list-style-type: none"> -Certificado de garantía de cumplimiento de todas las especificaciones de la EHE-08, junto con un certificado de resultados de ensayo emitido por una laboratorio acreditado. -Certificados de cualificación del personal para la ejecución de soldaduras no resistentes, avalando su formación específica para el procedimiento utilizado, en su caso. -Certificados de homologación de soldadores, según UNE-EN 287-1 y del proceso de soldadura, según UNE-EN 15614-1, cuando se empleen procesos de soldadura resistente. -Certificado de homologación de adherencia, en su caso. -Copia de la documentación relativa al acero para armaduras pasivas utilizando. |
| Documentación durante el suministro. | |
| -Hoja de suministro. | |
| Documentación después del suministro. | |
| -Certificado de garantía final del producto suministrado. (deberá mantener la trazabilidad de los productos) | |

Tabla 47. Documentación mínima exigible a las armaduras elaboradas y la ferralla armada.

* DOR distintivo de calidad con un reconocimiento oficial en vigor.

6.4.2-Control de las características de los productos.

Se puede hacer mediante ensayos, o mediante distintivos de calidad.



Control mediante distintivos de calidad.

Se podrán controlar mediante distintivos de calidad, sólo los productos que estén en posesión de un distintivo de calidad, que aporte un nivel de garantía superior al contemplado por la Instrucción EHE-08. Estos distintivos estarán oficialmente reconocidos por un Centro Directivo perteneciente a la Administración Pública que tenga responsabilidades en el ámbito de la edificación o de la obra pública. Este centro Directivo es responsable de velar por el cumplimiento de las condiciones establecidas por la EHE-08, y que estas se mantengan durante el tiempo en el que el reconocimiento esté en vigor.

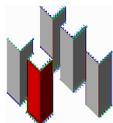
Las mayores garantías y la supervisión que hace la Administración Pública sobre los talleres y productos en posesión de un DOR (distintivo de calidad con un reconocimiento oficial en vigor), hacen que estos sean objeto de consideraciones especiales en materia de control. Las consideraciones especiales son las siguientes:

- Exención de ensayos experimentales en la recepción de los aceros para armaduras.
- Exención de ensayos experimentales en la recepción de las armaduras normalizadas.
- Exención de realizar visitas de inspección a las instalaciones de ferralla.
- Exención de ensayos experimentales en la recepción de las armaduras elaboradas o ferralla armada.

El Control de recepción, se limitará a efectuar un control documental sobre los certificados que avalen que los productos están en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

En esta documentación, habrá que comprobar los siguientes aspectos:

- Identificación de la entidad certificadora y del distintivo de calidad.
- Identificación del fabricante.
- Garantías que cubre el distintivo de calidad.
- Número, fecha de expedición y alcance del certificado.
- Reconocimiento oficial del distintivo.



Control mediante ensayos.

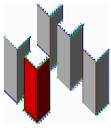
Acero para armaduras pasivas.

Depende de la cantidad de acero suministrado, tal como se ve en la tabla siguiente.

| Criterio / Ensayos | Tamaño del suministro | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | <300t | >300t |
| División del número de lotes ⁽¹⁾ | 40t | 40t |
| Ensayos por lote : | | |
| -Sección equivalente. | 2 | 2 |
| -Características geométricas del corrugado. ⁽²⁾ | 2 | 2 |
| -Ensayo de doblado-desdoblado o doblado simple. | 2 | 2 |
| Ensayo sobre cada diámetro: | | |
| -Ensayo de tracción completo. ⁽³⁾ | 1 | 4 |
| Estructuras sometidas a la fatiga. | Informe de ensayos ⁽⁴⁾ | Informe de ensayos ⁽⁴⁾ |
| Estructuras situadas en zona sísmica. | Informe de ensayos ⁽⁵⁾ | Informe de ensayos ⁽⁵⁾ |

1. Mismo suministrador, fabricante, designación y serie.
2. Conforme al certificado de homologación de adherencia o al índice de corruga, según corresponda.
3. Determinación del límite elástico f_y , carga de rotura f_s , relación f_s/f_y , alargamiento de rotura ϵ_u , y alargamiento de rotura bajo carga máxima ϵ_{max} .
4. El informe de ensayos debe garantizar que el acero cumple las exigencias siguientes: Soporta 2 millones de ciclos para una variación de tensión de 150 N/mm² o de 100 N/mm² según se trate de barras o mallas electrosoldadas.
5. El informe de ensayos debe garantizar que el acero cumple las exigencias siguientes: Soporta 3 ciclos completos de deformación alternativa sin presentar daños.

Tabla 48. Ensayos de comprobación durante la recepción de aceros para armaduras pasivas.



En suministros de más de 300t, el Taller de Ferralla, facilitará un certificado de trazabilidad firmado por persona física, en el que se declaren los fabricantes y coladas correspondientes a cada parte del suministro, junto con una copia del certificado del control de producción de cada fabricante, en el que se recojan los resultados de los ensayos mecánicos y químicos obtenidos para cada colada. En este caso, se han de efectuar ensayos de contraste de la trazabilidad de la colada, mediante la determinación de las características químicas, sobre 1 de 4 lotes, con un mínimo de 5 ensayos, que serán aceptables cuando su composición química presente unas variaciones, respecto de los valores del certificado del control de producción, que sean conformes con los siguientes criterios:

| | |
|--|-----------------|
| % C ensayo = % C certificado. | ± 0.03. |
| % Ceq Ensayo = % Ceq certificado. | ± 0.03. |
| % P ensayo = % P certificado. | ± 0.008. |
| % S ensayo = % S certificado. | ± 0.008. |
| % N ensayo = % N certificado. | ± 0.002. |

Tabla 49. Ensayos.

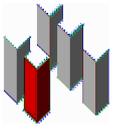
Una vez comprobada la trazabilidad de las coladas y su conformidad respecto a las características químicas, se procederá a la división de lotes, correspondientes a cada colada, serie y fabricante, y cuyo número no puede ser nunca menor a 15. Para cada lote se toman dos probetas sobre las que se efectúan los ensayos que aparecen en la tabla anterior.



Fotografía 51. Barras corrugadas.



Fotografía 52. Rollo encarretado.



Armaduras normalizadas.

La conformidad de las armaduras normalizadas mediante ensayos, se efectúa realizando los mismos ensayos descritos para aceros para armaduras y adicionalmente los siguientes:

- 2 ensayos por lote para comprobar la carga de despegue del nudo soldado.
- Comprobación de la geometría sobre 4 elementos por lote.

Además, se deberán rechazar el empleo de aquellas armaduras normalizadas que presenten un grado de oxidación que pueda afectar a sus condiciones de adherencia, bien porque tras un cepillado enérgico se aprecia una pérdida en peso superior al 1% , o una pérdida de altura de corruga que quede fuera de los límites establecidos por el Certificado de Homologación de Adherencia o por el índice de corrugas, según corresponda.



Fotografía 53. Armadura básica electrosoldada en celosía.



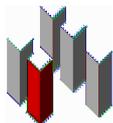
Fotografía 54. Malla electrosoldada.

Armaduras elaboradas o ferralla armada.

El control de recepción de las armaduras elaboradas o ferralla armada mediante ensayos experimentales, consiste en la comprobación de sus características mecánicas, de sus características de adherencia y la de sus dimensiones geométricas.

El lote sobre el que se efectúa el control experimental de las armaduras se define de acuerdo a las siguientes condiciones:

- Tamaño no superior a 30T.
- Formado por remesas consecutivas suministradas a obra desde el taller de ferralla.
- Elaboradas con el mismo tipo de acero y forma de producto: barra y rollo.



Control experimental de las armaduras pasivas o de la ferralla armada.

| Control experimental | Armadura elaborada o ferralla armada | | |
|---|--------------------------------------|--|-------------------------------|
| | Con DOR | Sin DOR | |
| | | Con soldadura | Sin soldadura |
| Características mecánicas: - Ensayo de tracción. - Doblado simple o doblado-desdoblado. | NO | 2 x serie ⁽¹⁾ 8 x lote ⁽³⁾ 8 x lote ⁽³⁾ | 2 x serie ⁽¹⁾ — |
| Características de adherencia ⁽⁴⁾ | NO | 2 x diámetro | |
| Características geométricas. ⁽⁵⁾ | NO | 15 unidades / lote | |

⁽¹⁾ El ensayo se efectuará sobre un diámetro de cada serie: fina (6,8,10), media (12 a 20), gruesa (25 a 40).

⁽¹⁾ Si el acero empleado está en posesión de un DOR, el número de ensayos se reduce a la mitad.

²⁾ Estos ensayos no son precisos si la armadura no ha empleado procesos de soldadura o enderezado.

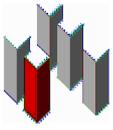
⁽³⁾ De cada lote se toman 4 muestras correspondientes a las combinaciones más representativas del proceso de soldadura. Se ensayan dos probetas por muestra correspondientes a los diámetros menores en el ensayo de tracción, y a los mayores en el ensayo de doblado.

⁽⁴⁾ Esta comprobación no es obligatoria si la elaboración no incluye proceso de enderezado.

⁽⁵⁾ Las comprobaciones incluyen:

- Correspondencia con lo indicado en proyecto y en la hoja de suministro y tipos de diámetros y tipo de acero; y en ferralla armada también número de elementos de armadura.
- Alineación de elementos rectos, dimensiones y diámetros de doblado. Tolerancias conformes a las establecidas en el proyecto o en la EHE-08.
- Conformidad de la distancia entre barras, en el caso de ferralla armada.

Tabla 50. Control experimental de las armaduras pasivas o de la ferralla armada.

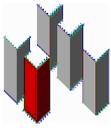


En caso de de no ser conformes los resultados de las características mecánicas y de adherencia, se efectuará una nueva toma de muestras y se repetirán los ensayos. Si de nuevo estos no son conformes se rechazará el lote. Si el incumplimiento es en las características geométricas, se rechazará la armadura objeto de incumplimiento y se revisará toda la remesa. Si no hubiera más incumplimientos, se aceptará la remesa, en caso contrario se rechazará.

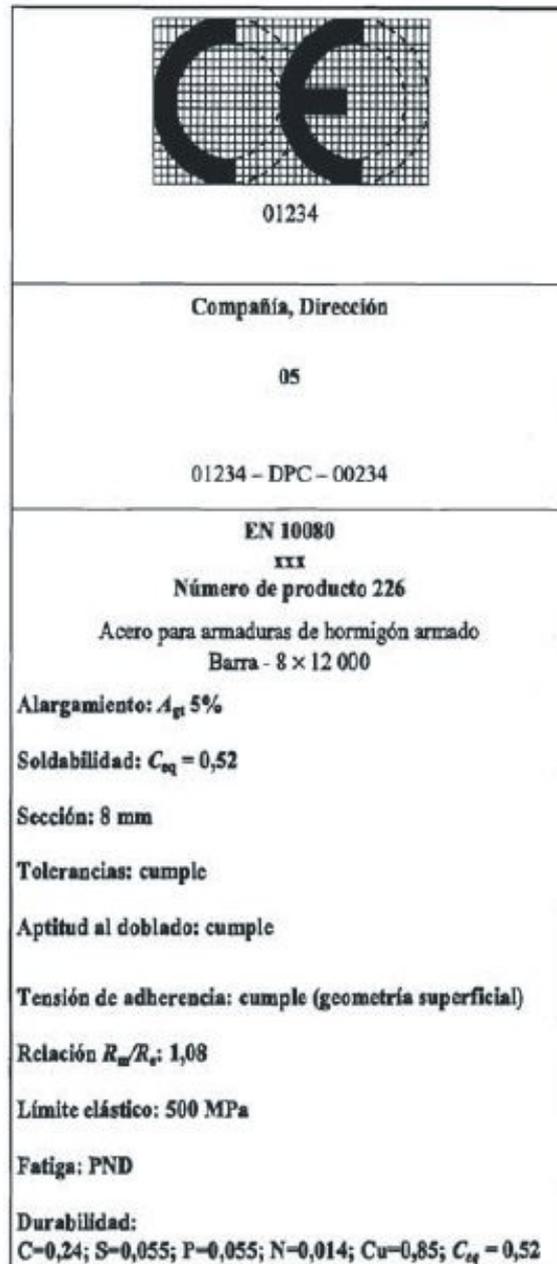
Además, se deberán rechazar el empleo de aquellas armaduras normalizadas que presenten un grado de oxidación que pueda afectar a sus condiciones de adherencia, bien porque tras un cepillado enérgico se aprecia una pérdida en peso superior al 1% , o una pérdida de altura de corruga que quede fuera de los límites establecidos por el Certificado de Homologación de Adherencia.



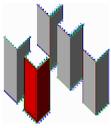
Fotografías 54-55. Ferralla armada.



Documentación referente al control:



Fotografía 56. Etiqueta marcado CE acero para armaduras pasivas.



CERTIFICADO DE SUMINISTRO

Nombre de la empresa suministradora: _____

Nombre y cargo del responsable del suministro: _____

Dirección: _____
Identificación del declarante (nombre, domicilio, teléfono/fax, documento de identificación (CIF/NIF/Pasaporte))

Certifico

Que la empresa _____
Identificación del declarante (nombre, domicilio, teléfono/fax, documento de identificación (CIF/NIF/Pasaporte))

ha entregado en _____ los suministros que a
Lugar de recepción del material o producto

continuación se detallan:

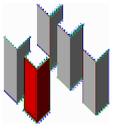
| <i>Fecha</i> | <i>Nº Albarán</i> | <i>Identificación del producto o material</i> | <i>Cantidad</i> |
|--------------|-------------------|---|-----------------|
| _____ | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ | _____ |

Durante el periodo transcurrido entre la declaración de estar en posesión de un distintivo de calidad reconocido oficialmente y el último suministro, no se producido ni suspensión, ni retirada del citado distintivo. *(En el caso de fuese aplicable)*

Declaro bajo mi responsabilidad la conformidad del suministro arriba detallado con las disposiciones establecidas en la Instrucción de Hormigón Estructural, aprobada mediante Real Decreto de __ de _____ de ____.

Lugar, fecha y firma.

Fotografía 57 Certificado Final de Suministro.



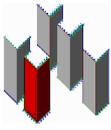
7- Conclusiones.

Como consecuencia de lo expuesto en este Proyecto Final de Carrera, se pueden destacar los cambios a la hora de elaborar la ferralla, ya que tradicionalmente, las armaduras se elaboraban a pie de obra. Actualmente, es un proceso industrializado, mecanizado y totalmente automatizado, en el cual se utiliza maquinaria especializada y totalmente informatizada. Ya que cada planilla que sale de la oficina técnica, va ligada a unos códigos de barras para programar la maquinaria.

De los datos obtenidos a partir de un seguimiento diario durante varios meses en un taller, vemos que cada puesto debe conocer perfectamente su procedimiento de trabajo basado sobre todo en la instrucción EHE-08, ya que cada paso que se da, lleva un proceso de control, que se debe validar antes de pasar al siguiente, y por supuesto antes de llevar los elementos a obra. También, cabe destacar la función del técnico en este proceso, ya que no sólo interpreta los planos para transformarlos en las distintas planillas necesarias para la elaboración, sino que debe conocer a la perfección el funcionamiento del taller en su totalidad, ya que dará la confirmación final a los elementos elaborados y deberá detectar los posibles fallos y de que parte del proceso en taller proceden. Para ello deberá conocer la Instrucción, saber interpretarla y aplicarla.

Con este estudio, he aprendido a aplicar la instrucción EHE-08 a todo lo que afecta a una instalación industrial fija, ya que durante la elaboración de este, he participado en su aplicación práctica, tanto en la oficina técnica, como en el departamento de producción o taller.

Cabe destacar, mis agradecimientos a la Empresa Ferros La Pobla S.A. en su totalidad, desde gerencia, oficina técnica y sobre todo al departamento de producción, que me han permitido hacer un seguimiento diario de su trabajo para poder elaborar e ilustrar este proyecto. También agradecer a mí tutora, el gran interés mostrado por el tema de este proyecto y seguimiento de elaboración.



BIBLIOGRAFIA.

Comisión Permanente del Hormigón, *Instrucción de Hormigón Estructural. EHE-08*, Madrid, Centro de Publicaciones, Secretaria General Técnica del Ministerio de Fomento, 2008.

Ruano Paniagua, Noelia, *Fichas Técnicas. Elaboración y Montaje de las Armaduras Pasivas para Hormigón Armado*, Madrid, Calidad Siderúrgica S.L., 2001.

Hernández Riesco, Germán, *Manual del Soldador*, Madrid, Cesol, 2005.

Calavera Ruiz, José, *Armaduras Pasivas para Hormigón Estructural. Recomendaciones sobre el proyecto, detalle, elaboración y montaje. Cuadernos técnicos 1*, Madrid, Calidad Siderúrgica S.L., 1997.

Comité Técnico de Certificación de Productos de Acero para Hormigón, *Reglamento particular de la marca AENOR para Armaduras Pasivas de Acero para Hormigón Estructural (Ferralla)*, Madrid, AENOR, 2009.

Vaquero, Julio, "Aceros y Armaduras para Hormigón. El nuevo enfoque de la Instrucción EHE-08.", Revista Zuncho núm. 22. Calidad Siderúrgica, Madrid, 2009, pp.13-30.

UNE-EN 288-4/A1, *Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos*, Madrid, AENOR, 1998.

UNE-EN 287-1, *Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros*, Madrid, AENOR, 2004.

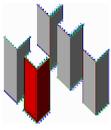
UNE 36065 EX, *Barras corrugadas de acero soldable con características especiales de ductilidad para armaduras de hormigón armado*, Madrid, AENOR, 2000.

UNE 36831, *Armaduras pasivas de acero para hormigón estructural. Corte, doblado y colocación de barras y mallas. Tolerancias. Formas preferentes de armado*, Madrid, AENOR, 1997.

UNE 36832, *Especificaciones para la ejecución de uniones soldadas de barras para hormigón estructural*, Madrid, AENOR, 1997.

AAVV, *Manual de Procedimientos*, Valencia, Ferros La Pobra S.A., rev. 2010.

AAVV, *Manual de Instrucciones*, Valencia, Ferros La Pobra S.A., rev. 2010.



Catálogo, *¿Qué es la ductilidad?*, Madrid, Instituto para la promoción de Armaduras Certificadas (IPAC), 2006.

Catálogo, *Siderúrgica Sevillana*, Sevilla, Siderúrgica Sevillana, 2009.