

Capítulo 3 – Materiales y Productos

3.1. Introducción

Los materiales utilizados en los forjados mixtos son, de manera general, análogos a los que se emplean en la construcción ordinaria; por consiguiente, deben tenerse en cuenta las recomendaciones y normas previstas para los mismos en las Instrucciones particulares. Sin embargo, muchas de las características y criterios predominantes en la construcción mixta no se encuentran debidamente resaltados o adaptados en las citadas Instrucciones.

A continuación se efectúa una presentación de los principales materiales y sus características, susceptibles de empleo sistemático, en la que se matizan y destacan los aspectos primordiales no expresamente definidos en las pertinentes Instrucciones.

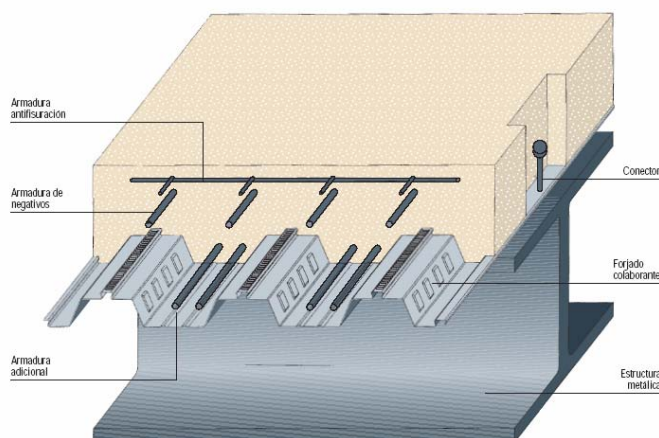


Figura 3.1. Principales partes de un forjado mixto de chapa colaborante.

3.2. Perfil metálico. Chapas grecadas

Por las funciones que deben desempeñar, las chapas grecadas constituyen el elemento fundamental en un forjado con chapa colaborante. En el mercado existe una gran variedad de diferentes chapas grecadas, aptas para ser utilizadas en este tipo de soluciones. Estas chapas se diferencian por la forma, el canto y la separación de las grecas, por su ancho, por el sistema adoptado para su solape lateral, por la rigidización de los elementos planos que constituyen el perfil y por la conexión mecánica (identaciones) que debe asegurar la conexión con el hormigón. El espesor de las chapas se puede situar entre 0.75 y 1.50 mm, aunque en la práctica los espesores empleados raras veces superen el valor de 1.00 mm. El canto de las grecas varía entre 45 y 80 mm, aproximadamente y dependiendo del tipo de perfil considerado.

La chapa nervada puede tener diferentes tipos de configuración, siendo este aspecto definitivo para lograr una buena capacidad resistente a tensiones rasantes. Existen dos grandes familias por la forma de la chapa: los perfiles de cola de milano y los perfiles trapezoidales con identaciones, como se observa en la figura 3.2. (a) y (b). También existen perfiles de gran canto, fig. 2.1. (c), aunque no son muy utilizados y no son nombradas por el Eurocódigo 4. En principio,

son más aconsejables las de configuración en cola de milano en su concepción general, al “abrazar” el hormigón a la chapa de la manera más eficaz por el efecto de la retracción.

La gama de usos de losas mixtas se presenta en la tabla 3.1. Las losas mixtas se pueden diseñar para actuar como parte de un sistema de vigas mixtas usando conectores.

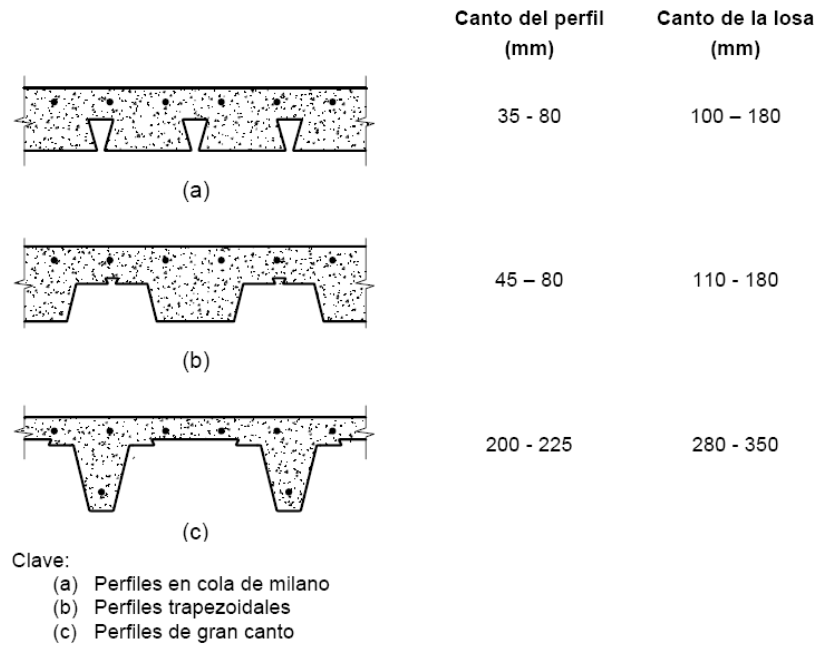


Figura 3.2. Tipos de losas mixtas

Forma de chapa	Canto del perfil (mm)	Canto de la losa (mm)	Longitud del vano (m)
1. Perfiles en cola de milano	35 - 50	100 - 150	2 - 3,5
2. Perfiles trapezoidales	45 - 80	120 - 180	2,5 - 4,5
3. Perfiles de gran canto	190- 225	270 - 350	4,5 - 8,5

Tabla 3.1. Campo de aplicación de losas mixtas



Figura 3.3. Construcción de forjados colaborantes utilizando chapas de gran canto.

3.2.1. Denominación y características geométricas.

Las chapas se denominan por su referencia comercial, la altura de la greca, su ancho útil y/o el paso entre ondas.

- Altura de la greca (h). Como en todos los perfiles la altura o canto es un indicativo de la inercia y capacidad resistente. Las alturas más habituales en este tipo de chapas oscilan entre 45 y 80 mm.
- Paso o ancho útil (p). Dato a considerar en el proyecto y petición del material, en el rendimiento de montaje y manipulación en obra. El rango se encuentra entre 700 y 900 mm.
- Paso entre grecas (b). Característica función del diseño. Rangos entre 150 y 300 mm, aproximadamente.
- Espesor (e). Espesores más comunes: 0.70, 0.75, 0.80, 1.00 y 1.20 mm. El Eurocódigo 4 recomienda espesores mínimos de 0.70 mm, salvo que se utilice sólo como encofrado. El uso de espesores más delgados no está prohibido, pueden utilizarse cuando se disponga de base teórica y resultados experimentales para justificarlo.

Otros valores importantes para el proyecto y montaje que los fabricantes incluyen en sus fichas técnicas son: peso por m² y volumen de hormigón por m².

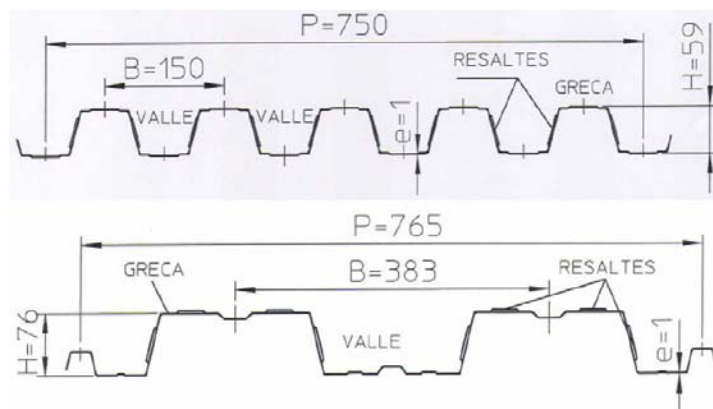


Figura 3.4. Geometría de una chapa colaborante.

3.2.2. Resaltes o indentaciones. Tipología de conexión rasante en la interfaz acero-hormigón

Las embuticiones o resaltes son el elemento de anclaje, adherencia y colaboración con la losa de hormigón. La cantidad y diseño de los resaltes tiene que asegurar una adherencia superior al esfuerzo rasante y cortante vertical.

El tipo de indentación trata de buscar su eficacia bien en la zona del valle, en el alma de las chapas o en la parte superior de las mismas. Son aspectos determinantes los siguientes:

- Tamaño de la indentación.
- Intensidad de la indentación en la chapa.
- Posición de la indentación en el perfil.
- Longitud de la indentación.
- Orientación de la indentación en la parte vertical, inclinada u horizontal de la chapa

El no poder determinar numéricamente la incidencia de algunas de estas alternativas y sus variaciones, es uno de los motivos por lo que es preciso validar la idoneidad y capacidad de estos forjados mediante ensayos. Se ha observado en los ensayos de flexión que la zona entre embuticiones de la chapa metálica apenas trabaja. Resulta importante diferenciar el deslizamiento en directo o inverso según la orientación de las embuticiones, ya que cada uno afecta de forma diferente a la chapa.

El cálculo y comprobación de la losa mixta se basa en disposiciones teóricas y ensayos de caga. En el Anexo B del Eurocódigo 4 se indica a título informativo el procedimiento para los ensayos y la obtención de los parámetros m y k , y la determinación de la resistencia de cálculo a tensión rasante.

Para que la chapa actúe como armadura de la sección compuesta esta debe ser capaz de transmitir tensiones rasantes en su interfaz con el hormigón. El carácter unitario del conjunto chapa-hormigón, se asegura por alguno de los procedimientos siguientes:

- Enlace mecánico proporcionado por deformaciones a lo largo de la chapa (embuticiones o resaltos), figura 2.2. (a).
- Adherencia por fricción en chapas cuyos nervios forman ángulo agudo con la horizontal, (b).
- Anclaje extremo por pernos soldados u otro tipo de conexión local entre hormigón y acero, (c), sólo en combinación con (a) o (b).
- Anclaje extremo por deformación de los nervios al final de la chapa, (d), sólo en combinación con (b).

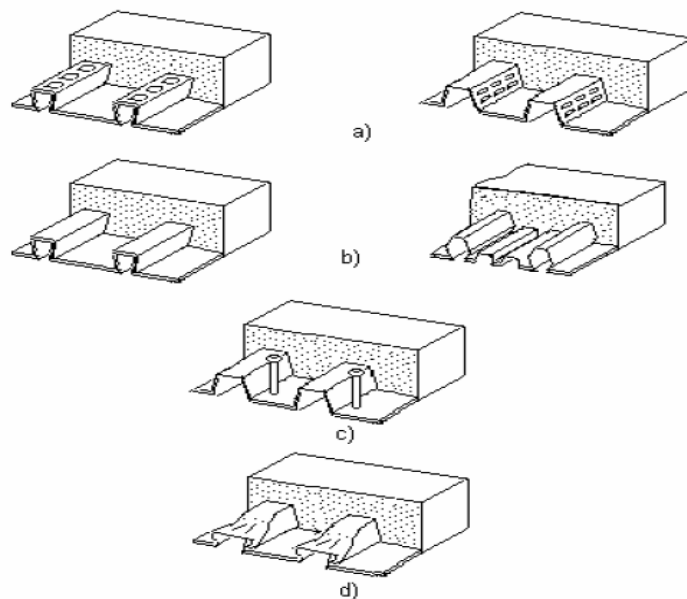


Figura 3.5. Configuraciones admisibles según EC4

Aunque según el Eurocódigo 4 no se excluyen otros procedimientos, éstos quedarían fuera de su alcance.

3.2.3. Características resistentes

Los valores resistentes de cada perfil son consecuencia de su forma geométrica y del tipo de acero. Las principales características resistentes son la inercia, el módulo resistente y el centro de esfuerzos (fibra neutra).

Las características resistentes de la chapa juegan un papel clave a la hora de comprobar el forjado como encofrado perdido, véase capítulo 4, pues es el único elemento resistente en esta fase.

La chapa grecada se clasifica como una sección tipo 4, y se le dará un tratamiento como tal. Será necesario calcular anchos efectivos y a partir de éstos: áreas, inercias, módulos elásticos y posición del centro de gravedad. Evidentemente, las características resistentes disminuirán. El Eurocódigo 3 recoge todos estos cálculos.

3.2.4. Materiales

Los criterios para forjados mixtos con chapa nervada son aplicables a los construidos con tipos de acero incluidos en las siguientes Normas:

- Aceros de bajo contenido en carbono (dulce), según EN 10025.
- Aceros de alta resistencia, según prEN 10113.
- Aceros laminados en frío, según ISO 4997: 1978.
- Aceros galvanizados, según prEN 10147.

Norma	Tipo de acero	f_{yp} (N/mm ²)
EN 10025	S235	235
	S275	275
	S355	355
prEN 10113 Parte 2	S275	275
	S355	355
	S460	460
prEN 10113 Parte 3	S275	275
	S355	355
	S420	420
	S460	460
ISO 4997	CR220	220
	CR250	250
	CR320	320
prEN 10147	Fe E 220 G	220
	Fe E 250 G	250
	Fe E 280 G	280
	Fe E 320 G	320
	Fe E 350 G	350

Tabla 3.2. Límite elástico del material base f_{yp} para chapas nervadas.

La bobina de acero galvanizado es el material base del perfil y debe tener las aptitudes siguientes:

- Soportar las deformaciones y embuticiones propias del perfilado.
- La propiedad de elemento estructural de un forjado obliga a que el material base de la bobina sea un acero de construcción según la norma EN-10147.

En la tabla 3.2. se puede observar los diferentes grados del acero, en función de las diferentes normativas y las calidades de los mismos.

Las superficies exteriores de las chapas estarán protegidas frente a condiciones atmosféricas que deban soportar; en ambientes interiores no agresivos, un revestimiento de cinc con masa total 275 g/m^2 (en las dos caras), equivalente a $0,02 \text{ mm}$ por cara, generalmente es suficiente; no deben utilizarse protecciones distintas del galvanizado, salvo que se hayan verificado mediante ensayos. Por ejemplo, las láminas cubiertas de plástico han sido utilizadas en especiales circunstancias.

3.2.5. Conformación de la chapa

La chapa perfilada se conforma en frío, mediante una bobina de acero galvanizado que pasa a través de varios rodillos, produciéndole un progresivo y sucesivo conformado. Este proceso provoca un endurecimiento debido a la deformación del acero, que produce un aumento de la resistencia característica media de la sección. Generalmente una bobina de grado S235 (es decir, con un límite elástico de 235 N/mm^2), presenta un límite elástico de aproximadamente 300 N/mm^2 tras el conformado.



Figura 3.6. Proceso de conformación de la chapa.

3.2.6. Apoyos de las chapas

La longitud de apoyo debe ser tal que el colapso no se produzca como resultado de un desplazamiento accidental durante el montaje.

Las longitudes de apoyo l_{bc} y l_{bs} indicadas en la figura 3.7 no deben ser menores que las que se especifican a continuación:

- Para forjados mixtos apoyados sobre acero o hormigón: $l_{bc} = 75 \text{ mm}$ y $l_{bs} = 50 \text{ mm}$.
- Para forjados mixtos apoyados sobre otros materiales: $l_{bc} = 100 \text{ mm}$ y $l_{bs} = 70 \text{ mm}$.

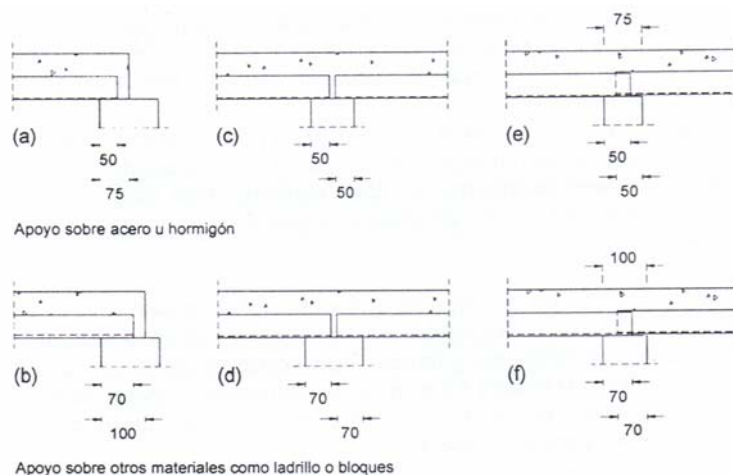


Figura 3.7. Apoyos de las chapas.

3.3. Hormigón

Las calidades y características de este material, en cualquiera de sus posibles procesos de fabricación, deben atenerse a lo expresado en la Instrucción EHE.

En general es muy conveniente utilizar hormigones de la máxima calidad posible en relación al tipo de obra, de manera de limitar los efectos desfavorables de la fluencia y la retracción; así como obtener módulos de elasticidad elevados que mejoran tanto el comportamiento global (menores deformaciones y vibraciones, fisuración mejor, etc.), como las cantidades de acero necesarias. Como generalmente la puesta en obra de este material es más sencilla que en las construcciones típicas de hormigón, no se producen contraindicaciones por criterios constructivos referentes al empleo de las antedichas calidades elevadas.

En el Eurocódigo 4 se admite la utilización de hormigones normales o ligeros si bien solo cubre las calidades entre C20/25 y C60/75 para normales y entre LC20/22 y LC60/66 para ligeros, tal y como se puede observar en la tabla 3.3. La EHE prevé hormigones estructurales de resistencia característica entre 20 y 50 N/mm², limitando el uso de la calidad de 20 N/mm² únicamente para el hormigón en masa.

Clase de hormigón			C20/25	C25/30	C30/35	C35/40	C40/45	C45/50	C50/60
f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
f_{ctm}	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
$f_{ctk0,05}$	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
$f_{ctk0,95}$	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3
E_{cm}	26	27,5	29	30,5	32	33,5	35	36	37

f_{ck} resistencia característica a compresión (probeta cilíndrica), en N/mm²
 f_{ctm} valor medio de la resistencia a tracción, en N/mm²
 $f_{ctk0,05}$ valor característico (cuantil 0,05) de la resistencia a tracción, en N/mm²
 $f_{ctk0,95}$ valor característico (cuantil 0,95) de la resistencia a tracción, en N/mm²
 E_{cm} módulo de elasticidad secante medio para cargas instantáneas, en kN/mm²

Las columnas correspondientes a los valores de f_{ck} 12 y 16 sólo proporcionan datos sobre las propiedades de los hormigones de calidad superior con menos de 28 días de edad.

Tabla 3.2. Clases de hormigones de peso normal según EC4

Normalmente se utilizan hormigones armados HA, tipificados según la instrucción EHE, con resistencia característica a compresión a 28 días de 25 N/mm^2 , HA-25.

La utilización de aditivos en el hormigón es muy usual en este tipo de construcción, pues la manera más habitual de puesta en obra será por bombeo por presentar menos dificultades que el hormigonado por cubilote, tal y como se explicará más adelante.

La altura de la losa de hormigón dependerá de:

- Luces y sistema de apoyo.
- Sobrecarga de uso.
- Requerimientos específicos del proyecto.
- Resistencia al fuego de la losa.

Aunque algunas publicaciones indican que en todos los casos los espesores mínimos sobre la chapa h_c , serán de 50 mm, el Eurocódigo 4 especifica los siguientes mínimos:

- El canto total de la losa mixta será de $h \geq 80 \text{ mm}$ y el espesor del hormigón sobre los nervios $h_c \geq 40 \text{ mm}$.
- Si la losa forma parte de una viga mixta o se utiliza como diafragma, $h \geq 90 \text{ mm}$ y $h_c \geq 50 \text{ mm}$.

La densidad seca de hormigones ligeros varía entre 1750 y 1850 kg/m^3 . La densidad húmeda es usada para determinar las cargas en la chapa durante la fase de construcción y es aproximadamente 100 kg/m^3 mayor que la densidad seca.

La influencia de la densidad del hormigón afecta a:

- Posible eliminación del rociado que se le da para la protección ante el fuego (siempre y cuando el sea permitido en función del espesor de la losa de hormigón y su densidad).
- La influencia del cambio de la carga muerta sobre cantidades de acero.
- Coste.
- Grado de dificultad para bombear y colocar el hormigón.

El grado del hormigón afecta a la rigidez de la sección mixta y a los esfuerzos rasantes de los conectores.

El Eurocódigo 4 también indica el tamaño nominal de los áridos. Éste será menor que:

- $0.4 \cdot h_c$
- $b_0/3$, siendo b_0 el ancho medio de los nervios, si forman ángulo agudo con su base se adopta el mínimo.
- 31.5 mm, tamiz C31.5

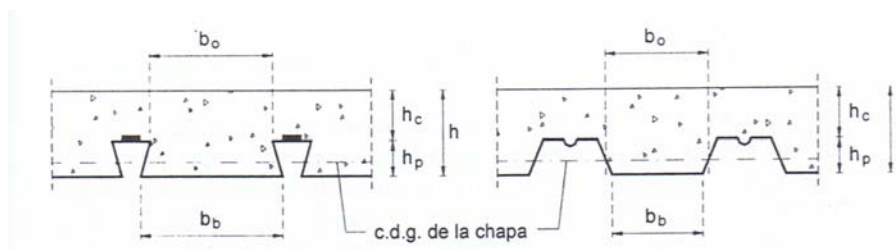


Figura 3.8. Geometría de la chapa.

En otras publicaciones [1] encontramos que se adoptará como tamaño máximo del árido el menor de los tres valores siguientes:

- $h_c/3$
- $b_b/3$
- 30 mm.

Las elevadas calidades y resistencias obtenidas con el hormigón ligero, permiten su empleo dentro de la construcción mixta, especialmente en los casos de estructuras cuyas características se vean notablemente mejoradas (como la edificación a gran altura).

Sin embargo, en todos los casos en los que se decida la utilización de un hormigón ligero, deben requerirse al fabricante o suministrador de los áridos los datos precisos para la determinación exacta de los parámetros que se consideren necesarios, ya que la calidad y/o tipo de áridos pueden dar lugar a modificaciones sensibles de las características de este tipo de hormigones.

De manera general puede decirse que el comportamiento del hormigón ligero difiere del hormigón normal, obteniendo menor capacidad resistente.

3.4. Armaduras pasivas

Por lo general nos encontramos con dos calidades de armadura: B500S y B400S. Lo habitual es la utilización de B500S.

Las armaduras que conforman el forjado mixto son las siguientes:

- Mallazo electrosoldado para limitar la retracción debida al secado del hormigón y evitar la fisuración. El cálculo determina el tamaño de la cuadrícula y diámetro de la varilla corrugada.

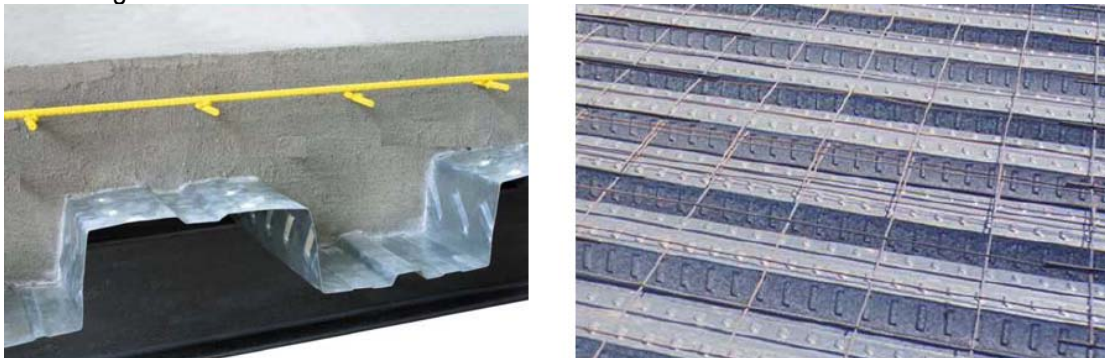


Figura 3.9. Vista de mallazo electrosoldado.

- Armadura negativa en los apoyos centrales de sistemas multiapoyados para absorber la tracción del momento negativo. El cálculo determina el diámetro y la longitud de la barra corrugada. Estas armaduras se colocarán a una profundidad de 25 mm respecto a la cara superior del forjado y la separación de las barras no excederá los 150 mm. La longitud de estas barras cubrirán un tercio de la luz de cada uno de los vanos adyacentes.
- Armadura positiva adicional en los casos excepcionales en que el perfil no absorba la totalidad de los esfuerzos de tracción. Esta armadura se coloca en los nervios de la losa mixta para contribuir a soportar los esfuerzos de flexión (momento flector positivo) cuando la sobrecarga de uso alcanzada por el forjado no es suficiente. En estos casos

los redondos corrugados se colocan en los valles del perfil metálico: esta medida aumenta la capacidad resistente de la losa, permitiendo, por ejemplo, disminuir el espesor de la chapa manteniendo constante el canto del forjado y aumentar a la vez la resistencia al fuego del mismo.

El Eurocódigo 4, especifica además lo siguiente:

- Tanto los refuerzos longitudinales como transversales serán emplazados en el espesor de la losa de hormigón.
- La cantidad de refuerzo en ambas direcciones no será menor que $80 \text{ mm}^2/\text{m}$.
- El espaciado de las barras de refuerzo no excederán el menor entre dos veces el canto total del forjado (losa de hormigón y chapa) y 350 mm.

El área de la armadura será $\geq 0,2\%$ de la sección de hormigón por encima de la chapa, en construcciones no apeadas, y $\geq 0,4\%$ de la sección de hormigón sobre los nervios, en las apeadas.

Independientemente de que deben respetarse siempre estas condiciones mínimas de armado, deberán disponerse en general las armaduras transversales necesarias frente a posibles flexiones en dirección transversal, cuando el trabajo tipo placa sea apreciable

Adicionalmente a todo esto, se tendrá especial atención en el refuerzo en zonas de concentración de tensiones, tales como agujeros o esquinas.

3.5. Fijaciones y conectores

Los perfiles deben fijarse a la estructura para evitar el desplazamiento bajo la acción del viento o durante la fase de hormigonado. La fijación se adaptará al tipo de soporte.

Si bien estas fijaciones pueden aportar un cierto grado de arriostramiento horizontal, no es tenido en cuenta a efectos de estabilidad de la construcción. Para tal fin sólo deben considerarse las conexiones directas losa-estructura a través de uniones adecuadas: conectores.

De esta manera, distinguimos dos tipos de fijaciones: tiros o clavos aplicados con pistola y conectores. Éstos últimos son los que permiten construir la "viga mixta" y optimizar así la estructura soporte. Tienen por objeto transmitir los esfuerzos entre la losa y la estructura permitiendo un aprovechamiento global de ambos.

Conectores

Existen dos tipos de conectores:

- Conectores soldados. Para soldar el conector a través de la chapa sobre el soporte, la parte superior de la viga debe estar limpia, no pintada y seca, y el perfil en contacto perfecto con la viga.
- Conectores clavados. Consisten en una pieza metálica en forma de "L" fijada a la viga por medio de dos clavos aplicados por pistola. Es un sistema de ejecución rápido.

Los pernos conectores soldados más habitualmente utilizados en el diseño de vigas mixtas son los de 75 a 150 mm de alto y de 19 ó 22 mm de diámetro. El de 19 mm de diámetro y 100 mm de altura es el tipo más común.

El perno conector clavado o aplicado por disparo (marca Hilti) es de 80 ó 110 mm de alto. Éstos ofrecen una resistencia a esfuerzos rasantes inferior a los pernos soldados, pero por el contrario, pueden ser aplicados con la estructura pintada, en condiciones climatológicas adversas y no requieren de fuente de energía.

Fijaciones

Las uniones de los perfiles con la estructura del edificio deben estar aseguradas por clavos o por tornillos. Estas uniones deben ser a base de dos fijaciones por cada extremo del perfil, como mínimo, siendo recomendable, no obstante, fijar de igual modo en el resto de los apoyos intermedios.

Hay que prever, asimismo, un cosido del nervio de conexión de los perfiles cada 50 cm., en el caso de 2 apoyos o tramo simple, y cada 100 cm. en tramo continuo.

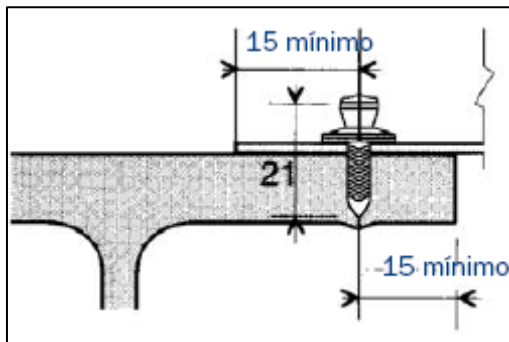


Figura 3.9. Fijación por disparo

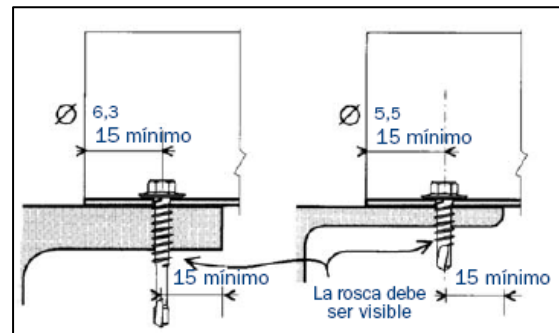


Figura 3.10. Fijación por tornillo

Las densidades de fijación en el montaje dependerá del caso en que nos encontremos:

- Caso 1: Discontinuidad de los perfiles sobre los apoyos sin solape de las chapas. Se deben fijar los perfiles en todos los apoyos (intermedios y extremos) con un mínimo de dos fijaciones por perfil.
- Caso 2: Continuidad de los perfiles sobre los apoyos. Se deben fijar los perfiles en todos los apoyos extremos con un mínimo de dos fijaciones por perfil.



Figura 3.11. Densidad de fijaciones.

3.6. Remates

Los remates perimetrales constituyen los límites verticales de los forjados y se realizan a base de piezas angulares de chapa de acero galvanizado. Éstos están dispuestos para la contención del hormigón en su fase húmeda.

Los espesores recomendados son:

- 1.20 mm, para losas entre 100 y 150 mm.
- 2.00 mm, para losas superiores a 150 mm.

Los tipos de remate que encontramos son los siguientes:

- Remate perimetral o angular rigidizado.
- Tirante contención. Dispuesto regularmente evita la deformación del remate anterior por el empuje del hormigón.
- Remate cambio de sentido del forjado.

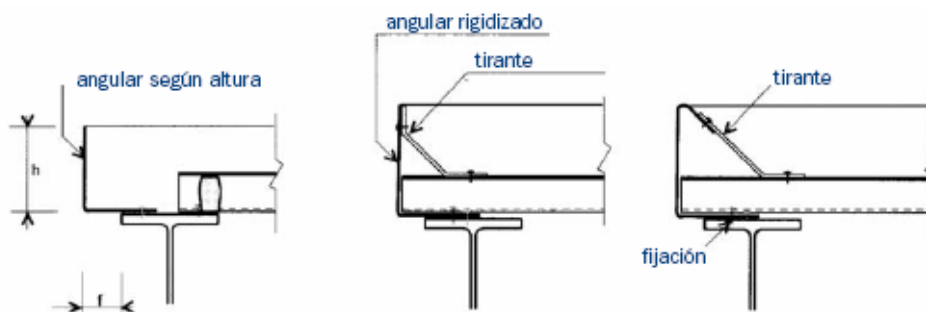


Figura 3.12. Topes o remates perimetrales

3.7. Acero estructural para las vigas principales y secundarias

Los aceros estructurales, incluyendo los utilizados en los conectadores, deben ajustarse, de manera general, a lo expresado en las Normas actualmente vigentes: DB-SE-A o bien a los Eurocódigos.

Como norma general, es preferible el empleo de aceros de calidad elevada, ya que la combinación con el hormigón tiende a reducir los problemas o limitaciones producidos por las deformaciones bajo cargas de servicio, permitiendo el máximo aprovechamiento de las favorables consideraciones de la relación coste/resistencia a tracción de tales aceros. El empleo de soluciones híbridas presenta también un gran interés en la construcción mixta.

Una interesante aportación a las estructuras mixtas puede ser en muchas ocasiones la incorporación de aceros débilmente aleados, resistentes a la corrosión atmosférica (tipo CORTEN), ya que al mismo tiempo que permiten un empleo favorable sin necesidad de protecciones anticorrosivos, presentan una elevada resistencia (tipos A50=AE36) que puede ser totalmente aprovechada en la construcción mixta, como se ha dicho anteriormente.

Cuando las uniones del forjado mixto se realicen mediante soldadura, será necesario la elección de calidades apropiadas tipos b ó c.