

**MATERIA PRIMA**  
Acero

**ESPEORES (mm)**  
0.75 hasta 1.2

**ACABADO**  
Galvanizado

**ANCHO ÚTIL 675 mm**

	ESPESOR (mm)			
	0.75	0.80	1.00	1.20
P (kg/m <sup>2</sup> )	10,90	11,63	14,54	17,44
I (cm <sup>2</sup> /m)	182,64	195,78	244,81	294,72
W (cm <sup>3</sup> /m) – fibra superior	31,95	34,50	43,09	52,06
A <sub>p</sub> (mm <sup>2</sup> /m)	1.297	1.385	1.732	2.078

P = peso perfil por metro cuadrado

I = inercia perfil por metro lineal

W = módulo resistente perfil por metro lineal

A<sub>p</sub> = sección útil de acero por lineal



## DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN

El forjado colaborante representa la solución constructiva más idónea para todas aquellas obras donde se requieran tanto las máximas prestaciones técnicas y mecánicas, como rapidez de ejecución y garantías. Gracias a sus características superiores, se adapta a cualquier tipología edificatoria (industrial, comercial, deportiva, residencial). Presenta notables beneficios económicos, sobre todo si se tiene en cuenta al inicio del proyecto comporta una disminución del canto medio del forjado, y por tanto una reducción de peso que se traduce en una reducción de la sección resistente de la estructura (pilares, vigas, cimentaciones).

El fundamento de los forjados compuestos radica en la tecnología usada para potenciar la adherencia entre la chapa de acero conformada y el hormigón. Esta tecnología se denomina también forjado colaborante por la colaboración entre los dos materiales que componen el forjado, para hacer frente a las tensiones generadas por las cargas. La adhesión mecánica de los dos componentes se realiza a través de las indentaciones en los flancos inclinados del perfil de acero galvanizado. La adhesión química de por sí sola, no sería suficiente para garantizar una unión eficiente que haga realmente trabajar el forjado compuesto como estructura mixta.

Las características del MT-100 han sido desarrolladas en colaboración con el Grupo de Estructuras del Departamento de Medios Continuos de la Escuela de Ingenieros Superiores de Sevilla, dentro de un marco de cooperación con AICIA – Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía.

Los ensayos experimentales llevados a cabo se ajustan a las prescripciones de las Normativas Eurocódigo 4 y Eurocódigo 3, únicas normativas de referencia y obligado cumplimiento a nivel europeo.

Los valores publicados en las tablas se refieren a la sobrecarga estática admisible y la sección de armadura al momento flector negativo en caso de apoyos intermedios. Los ensayos a rotura de losas de diferente tipología han facilitado los parámetros característicos “m” y “k” que definen la recta de referencia de forjado MT-100. Esta recta proporciona el dato de sobrecarga admisible en función del espesor de la chapa y del canto del forjado.

Tras obtener estos valores, siguiendo las modalidades de ensayo descritas en el EC4, se ha comprobado por medio de los obligados ensayos de comprobación.

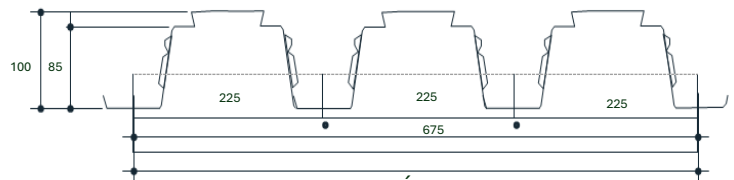
## CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL

## NORMATIVA EMPLEADA

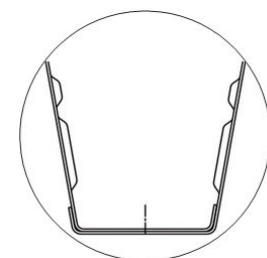
Características Geométricas			
Características	Valor	Unidades	Tolerancia/Norma
Canto de perfil (h)	100	mm	±1,5 EN 1090
Paso de onda	225	mm	+4/-1 EN 1090
Ancho de la cresta y valle	132,5/65	mm	+4/-1 EN 1090
Ancho útil (w)	675	mm	(±0,1 * h) y ≤15 EN 1090
Profundidad relieve alma	3,5	mm	-0,5/+1 EN 1090
Longitud (l)	1.600 a 14.000	mm	+20/-5 EN 1090
Altura / Anchura rigidizador	15/88	mm	-0,5 a +1 / ±0,1 EN 1090
Clase de ejecución		EXC2	EN 1090

Ref. Norma	Descripción
EN 508-1	Productos para cubiertas y revestimientos de chapa metálica. Especifican para los productos autoportantes de chapa de acero. Parte 1: acero.
EN 10143	Chapas y bandas de acero con revestimiento metálico en continuo por inmersión en caliente. Tolerancias dimensionales y de forma.
EN 10346	Productos planos de acero recubiertos en continuo por inmersión en caliente Condiciones técnicas de suministro.
EN 1090-2	Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para las estructuras de acero
EN 1090-4	Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 4: Requisitos técnicos para elementos estructurales y estructuras de acero conformados en frío para aplicaciones de cubierta, techo, forjado y muro.

Prestaciones del Perfil			
Características	Valor	Uds.	Tolerancia/Norma
Desviación de la rectitud	≤ a la toleran.	mm	±2/ml (max. 10) EN 1090
Desviación de la cuadratura	≤ a la toleran.	mm	≤ 0,005*w EN 1090
Desviación del solape lateral	≤ a la toleran.	mm	±2 s/500 mm EN 1090
Espesor de la chapa	0,75 a 1.2	mm	EN 10143
Tipo de acero	S220GD a S350GD		EN 10346
Emisión cadmio y compuestos	CUMPLE – Sin emisiones		EN 1090
Emisión radioactividad	CUMPLE – Sin emisiones		EN 1090
Comportamiento al fuego	Broof (t1)		RD 110/2008
Durabilidad	Galvanizado en caliente		EN 10346
Reacción al fuego	Clase A1		EN 13501-1
Capacidad portante	Ver tablas de carga		EN 1993 – EC3 y EC4



SECCIÓN PERFIL



DETALLE SOLAPE



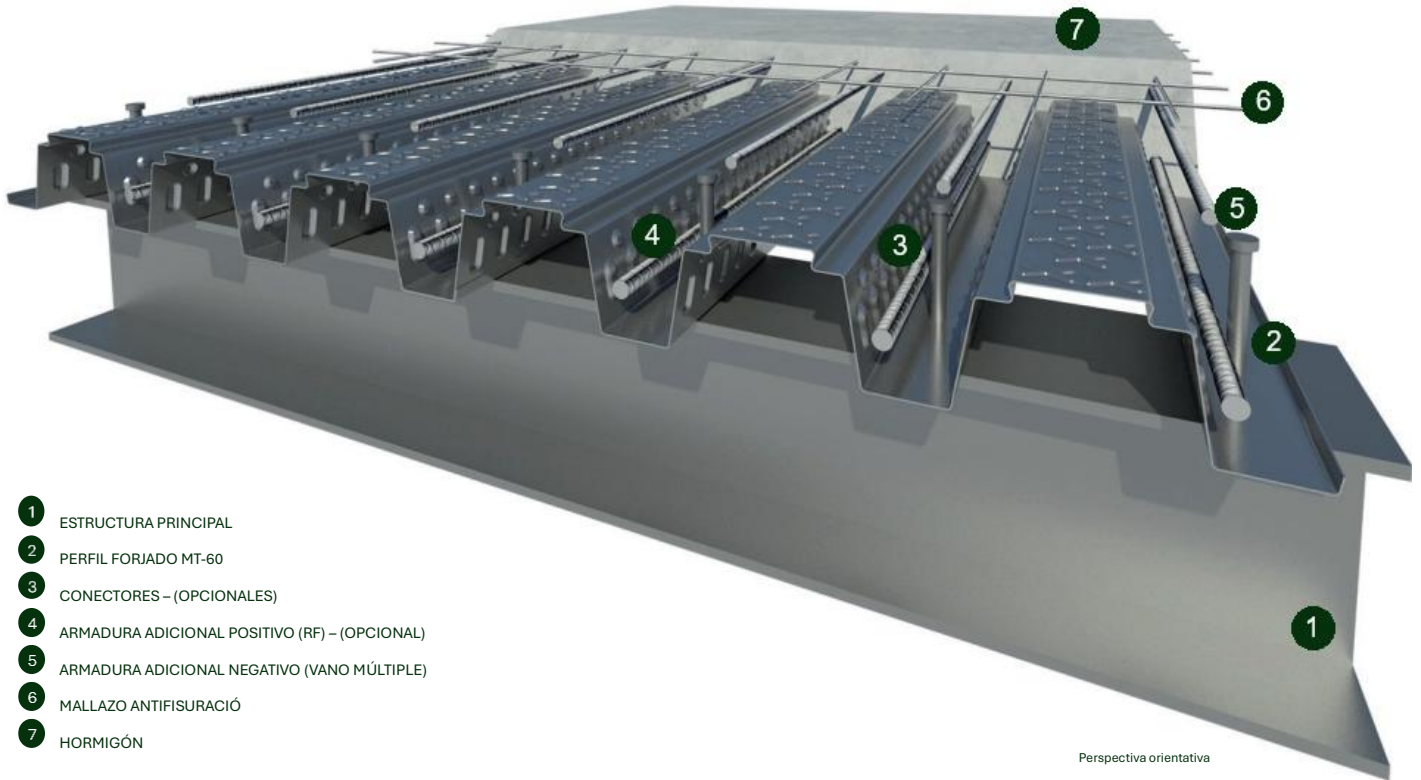






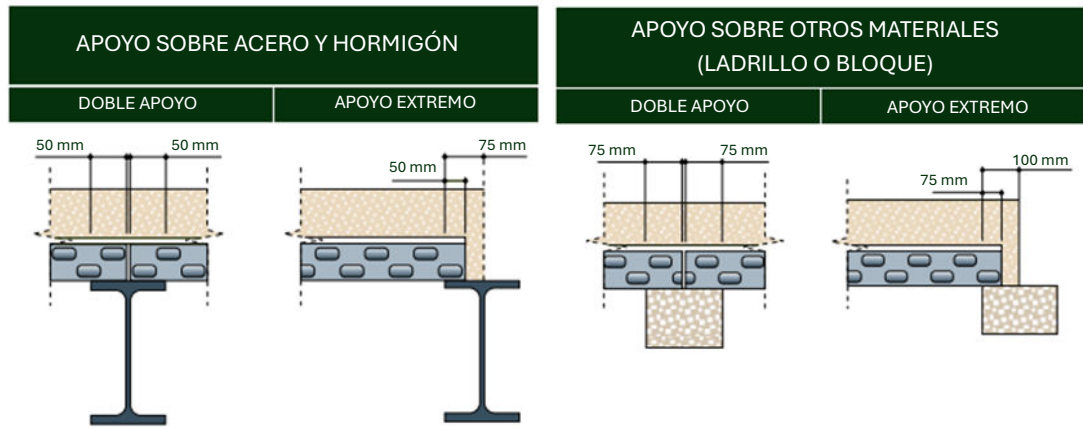


DETALLES TIPO

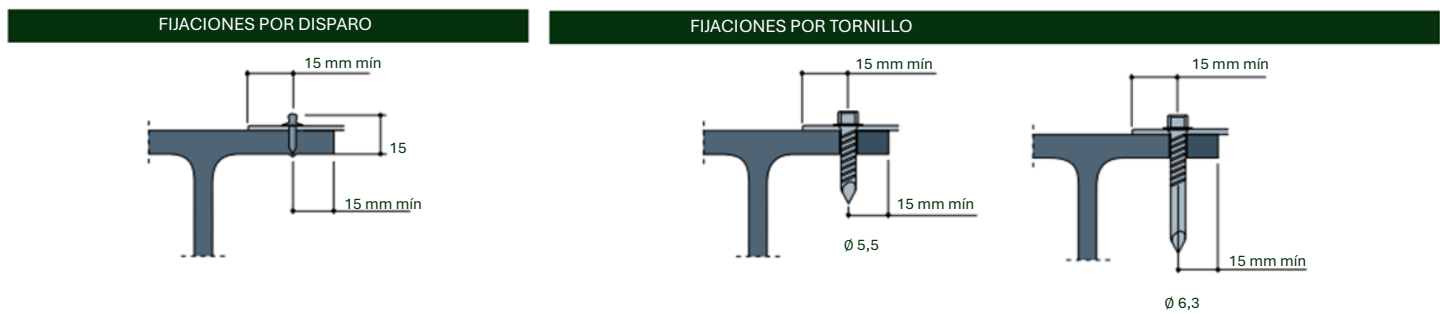


Sección tipo de forjado colaborante MT-100, en el que aparecen indicadas todas las armaduras que se pueden llegar a colocar en fusión de los requisitos de cálculo marcados por el proyectista. Incluso los conectores que soldados o atornillados serán necesarios cuando se requiera que el forjado trabaje solidariamente con la viga metálica de soporte.

CONDICIONES DE APOYO DE LAS CHAPAS EN VIGAS

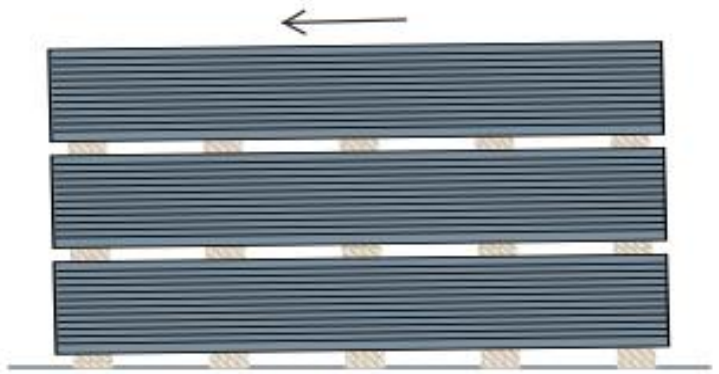
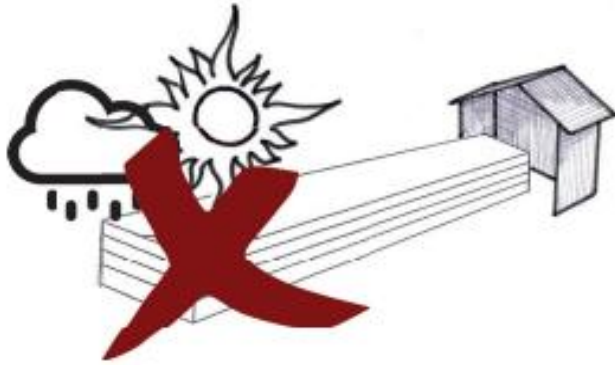


La unión del forjado a la estructura será por tornillo, clavo o soldadura, en función de la decisión del proyectista y siempre respetando las medidas mínimas indicadas para cada caso en las figuras adjuntas. Se recomienda la fijación de cada chapa a medida que se van montando y comprobar al final que todas estén fijadas.



## ESTOCAJE DEL MATERIAL

Con el fin de evitar la acción del viento, la humedad, la condensación y la lluvia, se recomienda estocar el material de acero galvanizado en zonas cubiertas, ventiladas y en una atmósfera lo más seca posible. En caso del estocaje a la intemperie, los paquetes se deberán aislar del suelo mediante tacos de altura diferente con el fin de obtener una pendiente que favorezca la evacuación del agua. Además, se cubrirán con lonas o plásticos garantizando una correcta ventilación para evitar la concentración de agua o humedad excesiva que puede hacer aparecer óxido blanco que solo afecta estéticamente el material sin mermar sus propiedades resistentes.



Vista en alzado

## APUNTALAMIENTO DEL FORJADO

Se entiende por apuntalamiento la colocación de apoyos intermedios para reducir temporalmente la distancia entre apoyos durante las fases de vertido y fraguado del hormigón. Una vez fijadas las chapas, en los casos donde sea necesario, se colocará un puntal en medio del tramo. En caso de necesitar dos puntales (tramo de luz libre importante) los puntales se colocarán a  $1/3$  y  $2/3$  de la luz libre del tramo. El croquis ilustra la manera correcta de colocar un puntal.

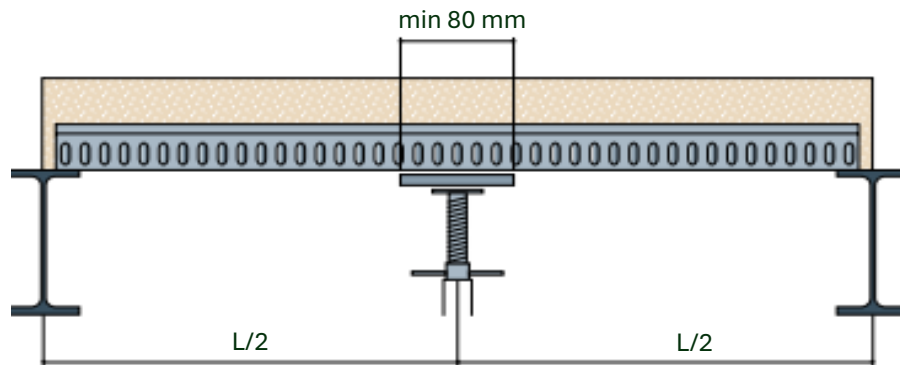
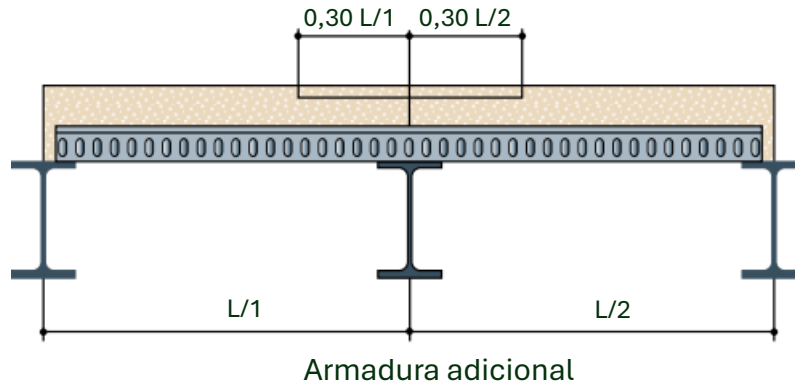


Imagen apuntalamiento provisional

## ARMADURA NEGATIVO

Cuando la losa diseñada es continua, es decir presenta apoyos intermedios, sobre éstos se producen momentos flectores negativos. Se hace entonces necesario colocar este tipo de armadura, a una profundidad de 25 mm respecto a la cara superior del forjado. Las barras corrugadas deben tener una longitud suficiente para cubrir un tercio de la luz de cada uno de los vanos adyacentes, como se muestra en el croquis adjunto. La sección mínima de armadura requerida para hacer frente a estos momentos flectores negativos se detalla en los correspondientes cálculos.



## MALLAZO ANTIFISURACIÓN

Su misión principal es la de hacer frente a los esfuerzos de retracción generados por el secado del hormigón, evitando su fisuración. Contribuye además a la distribución de pequeñas cargas puntuales actuantes sobre el forjado. Se debe colocar a una profundidad de 20 mm respecto a la cara superior del forjado, cubriendo enteramente su superficie.

### MALLAZO ANTIFISURACIÓN EN CAPA DE COMPRESIÓN FORJADO (mm)

			H (cm)																
			10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Mallazo	MT-100	200X200X4	-	-	-	-	√	√	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		200X200X5	-	-	-	-	-	-	-	√	√	√	√	√	√	-	-	-	
		200X200X6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	√	√

## PESO PROPIO Y VOLUMEN DE HORMIGÓN

### VALORES DE PESO PROPIO DEL FORJADO COLABORANTE (Kn/m<sup>2</sup>)

		H (cm)																
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Perfil	MT-100 e=0.75mm					1,9	2,14	2,38	2,62	2,86	3,1	3,34	3,58	3,82	4,07	4,3	4,54	
	MT-100 e=0.8mm	-	-	-	-	1,91	2,15	2,39	2,63	2,87	3,11	3,35	3,59	3,83	4,07	4,31	4,55	
	MT-100 e=1.0mm	-	-	-	-	1,93	2,17	2,41	2,65	2,89	3,13	3,37	3,61	3,85	4,09	4,33	4,57	
	MT-100 e=1.2mm	-	-	-	-	1,96	2,2	2,44	2,68	2,92	3,16	3,4	3,64	3,88	4,12	4,36	4,6	

### VOLUMEN DE HORMIGÓN POR UNIDAD DE SUPERFICIE (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)

		H (cm)																
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Perfil	MT-100 e=0.75mm	-	-	-	-	0,075	0,085	0,095	0,105	0,115	0,125	0,135	0,145	0,155	0,165	0,175	0,185	
	MT-100 e=0.8mm	-	-	-	-	0,075	0,085	0,095	0,105	0,115	0,125	0,135	0,145	0,155	0,165	0,175	0,185	
	MT-100 e=1.0mm	-	-	-	-	0,075	0,085	0,095	0,105	0,115	0,125	0,135	0,145	0,155	0,165	0,175	0,185	
	MT-100 e=1.2mm	-	-	-	-	0,075	0,085	0,095	0,105	0,115	0,125	0,135	0,145	0,155	0,165	0,175	0,185	



## COMPORTAMIENTO AL FUEGO

EL factor R es la capacidad portante de un forjado colaborante en situación de incendio. Según el Eurocódigo 4 Parte 1.2, para este tipo de soluciones será de 30 minutos (R-30). Este dato no necesita ninguna comprobación, mientras el cálculo del forjado colaborante se haya hecho de acuerdo con las especificaciones del Eurocódigo 4 Parte 1.1.

Si el proyecto requiere una resistencia al fuego superior a los 30 minutos (R-30), el proyectista puede optar por distintas soluciones:

- Incorporar a la cara inferior del forjado algún sistema de protección contra el fuego. Una opción consiste en crear un revestimiento continuo y de espesor homogéneo con morteros o pinturas o incorporar falsos techos de placas de yeso u otros materiales (cuidado de especial manera la estanqueidad de las juntas entre elementos).
- Incorporar al forjado armaduras de tracción. De esta manera se incrementa la capacidad portante del forjado en situación de incendio (criterio R) pero no la capacidad de aislamiento térmico (I). La capacidad de aislamiento térmico sigue dependiendo del espesor efectivo del forjado y de la protección adicional que se disponga por la cara inferior del perfil de acero (\*).

**(\*) Contactar con nuestro Departamento Técnico para los casos en los que se requiera un factor R mayor a 30 minutos para evaluar la solución óptima en cada caso y recibir un asesoramiento personalizado.**

## CONECTORES- SOLUCIÓN VIGA MIXTA JUNTO A ESTRUCTURA

Importante indicar que los conectores no influyen en la resistencia propiamente dicha del forjado colaborante. Es decir, el hecho de disponer de conectores no hace que el forjado sea más resistente que cuando no se coloquen.

En esta solución constructiva, el perfil para forjado colaborante se une a la estructura metálica por medio de los conectores. El forjado pasa a ser parte de la misma estructura portante del edificio del edificio, dejando de ser un elemento monolítico cuyo peso es soportado por las vigas y pilares sobre los que apoya. Funciona como capa de compresión de la sección resistente, que de esta manera ve su resistencia notablemente incrementada. Esto permite considerar en los cálculos, la suma de las secciones resistentes de la viga metálica y el forjado. La decisión sobre el tipo de estructura a adoptar y el correspondiente cálculo son responsabilidad del Proyectista.

Estos conectores pueden ser soldados a través de la chapa del forjado a la estructura de soporte o bien fijados mecánicamente por disparo y fulminante o similar.



Conectores soldados



Conectores fijados mecánicamente

### Vertido de hormigón:

El hormigonado sobre las chapas grecadas se realizará mediante los métodos tradicionales: bombas y tuberías o cubilote. Todo aceite, suciedad, untuosidad remanente del proceso de fabricación o sustancia perjudicial, presente en la cara superior del perfil, deberá ser eliminado antes de comenzar la fase de vertido del hormigón. Para conseguir las propiedades finales del forjado especificadas en el proyecto, hay que aplicar el máximo cuidado en esta fase, evitando una excesiva deformación del forjado, la segregación del árido o las pérdidas de lechada. El hormigón se verterá en la medida de lo posible sobre las vigas de apoyo del forjado, desde la mínima altura posible. Es necesario usar una tubería de salida del hormigón dotada de un asa que permita un manejo fácil y práctico, ya que en ningún caso se verterá el hormigón desde una altura mayor de 30 cm. Hay que evitar cualquier acumulación de material, e ir distribuyéndolo longitudinalmente a los nervios del perfil de acero, desde las vigas hacia los vanos. La circulación de carretilla se realizará sobre tabloncillos de 30 mm de grueso colocados sobre la malla, asegurándose que no coincidan en la misma zona del forjado más de tres operarios al mismo tiempo. Para garantizar el buen funcionamiento del forjado hay que realizar una compactación satisfactoria alrededor de los conectores, de las armaduras y sobre el relieve de la chapa. No es necesario vibrar el hormigón. En caso de pérdidas de lechada con la consecuente aparición de manchas en la parte inferior del perfil, se aconseja limpiar antes del secado con un simple chorro de agua.

### Apertura de huecos en los forjados:

Generalmente en las obras es necesario prever huecos para el alojamiento y paso de instalaciones y bajantes a través del forjado. En este caso los huecos se deben plantear previamente al hormigonado, utilizando bloques de poliestireno expandido o cualquier otro medio de encofrado. Cuando el lado del hueco es mayor de una onda, será necesario reforzar longitudinal y transversalmente el perímetro del hueco a nivel estructural.

En general se puede afirmar que:

- Los huecos de hasta 300 mm de lado no precisan refuerzo.
- Los huecos con lado comprendido entre 300 y 700 mm de longitud precisan armaduras de refuerzo.
- Los huecos con lado mayor de 700 mm de longitud precisan colocación de estructuras auxiliares de soporte. Para abrir estos huecos, el perfil metálico se cortará siempre y cuando el hormigón esté curado. Es importante no perforar la losa con equipos de percusión una vez esté fraguada, ya que las vibraciones pueden afectar la colaboración entre la chapa de acero y el hormigón, generando pérdida de adherencia y por tanto de capacidad portante.

### Tipos de remate:

Para agilizar la construcción de un forjado colaborante y optimizar el tiempo de ejecución, nuestro fabricante ha creado unos exclusivos remates de acero galvanizado. Se trata de piezas que aún sin ser imprescindibles son muy útiles, ya que sustituyen a determinadas operaciones de encofrado que de otra forma se harían de manera más artesanal y aproximativa en la obra:

- Remates de borde de forjado (R1).
- Remates de atirantado (R2).
- Remates de cambio de dirección del forjado (R3)



Remate de borde de forjado (R1) - LINEAL



Remate de atirantado (R2) - PUNTUAL



Remate de cambio de dirección de forjado (R3) - LINEAL

### Hipótesis de cálculo:

Los resultados que figuran en las tablas de sobrecarga estática, obtenidos según el procedimiento establecido por la Normativa EC4 y EC3, parten de las siguientes hipótesis de cálculo:

- Las cargas que actúan sobre el forjado son distribuidas y predominantemente estáticas.
- Las luces del forjado se sitúan en la dirección de los nervios de la chapa.
- Para el estudio de las losas en fase de servicio se usa el análisis elástico, para la comprobación tensional a flexión se considera la teoría plástica.
- Los resultados de las tablas se refieren a un forjado colaborante sin conectores, es decir, no describen el comportamiento de la solución de viga mixta.
- El hormigón considerado en el cálculo es un HA-25 (\*).
- El límite elástico considerado en el cálculo del acero del perfil MT-100 es 220 MPa (\*), y el coeficiente parcial de seguridad para Estados Límites Últimos del acero del perfil es 1,10.
- El modelo de cálculo empleado considera los siguientes estados límites: en fase de ejecución la flexión representa el estado límite último, y la deformación el estado límite de servicio. En fase de servicio los estados límites últimos son representados por la flexión, los esfuerzos rasantes, los cortantes verticales, mientras que el estado límite último es la deformación.
- Criterio de flecha cuando la chapa de acero nervada actúa como encofrado:  $f \cdot l / 250$  ó  $f \cdot 20$  mm(\*), con L= luz libre entre apoyos. En el cálculo de estas deformaciones se considera el peso de la chapa y del hormigón fresco, pero no se consideran las cargas de ejecución, puesto que son temporales.
- Criterio de flecha en fase de servicio:  $f \cdot l / 250$  (\*) en cualquier caso contemplado en las tablas.
- Coeficientes de mayoración de las cargas empleados en los cálculos:
  - Coeficiente de mayoración de pesos propios: 1.35.
  - Coeficiente de mayoración de cargas permanentes: 1.35.
  - Coeficiente de mayoración de cargas de uso: 1.50.
- Los valores de las "Tablas de carga de Servicio para el Perfil MT-100" han sido calculados de acuerdo con las especificaciones del EC4 parte 1.1 en fase de construcción del forjado, y como losa mixta en fase de servicio del mismo. Las tablas hacen referencia a una tipología genérica de forjado definida en los puntos anteriores. El calculista autor del proyecto es el responsable de realizar el cálculo del forjado de acuerdo con las particularidades relativas a las cargas actuantes, los materiales empleados y otras propias de cada proyecto. Los valores de sobrecarga estática que figuran en las tablas son los valores de sobrecarga máxima admisible en servicio, donde las cargas representan la suma de las cargas permanentes y de las sobrecargas de uso actuantes sobre el forjado. El peso propio del forjado compuesto ya ha sido tenido en cuenta en los cálculos.

*(\*) Para otros valores, contactar con el Departamento Técnico para evaluar la solución óptima en cada caso y recibir un asesoramiento personalizado.*

## CONSIDERACIONES DE CÁLCULO

Interpretación de los diferentes sombreados en las tablas de sobrecarga admisible: diversidad de enfoque teórico por introducción de puntal (durante la ejecución del forjado).

El usuario de las tablas de sobrecarga del forjado compuesto con perfil MT-100, puede extrañarse al comprobar cómo, en un determinado momento, al aumentar en 1 cm el canto de la losa de hormigón, la sobrecarga admisible baja de manera significativa. Este salto en los valores corresponde a la entrada en la zona de apuntalamiento, sombreada en rosado de las tablas. Esto se debe al diferente enfoque teórico que sostiene el estudio y comprobación de una estructura no apeada y apeada (según recoge la Normativa Eurocódigo 4 y Eurocódigo 3). Una chapa de acero no apuntalada, en fase de ejecución del forjado, se deforma proporcionalmente al peso propio del hormigón vertido. Una vez fraguado, el forjado presenta flecha ( $f_0$ ) y la chapa tiene una tensión interna correspondiente a su deformación. Cuando este forjado se carga (carga  $Q$  uniformemente distribuida), en el centro del vano se registrará el máximo valor de momento flector (correspondiente a la carga  $Q$ ). Es el momento de comprobar el forjado a las diversas solicitaciones presentes (momento flector, cortante, rasante): en la casi totalidad de los casos el forjado se romperá por alcanzar el máximo momento rasante. Es lícito afirmar que la carga que ha determinado el deslizamiento entre el hormigón y la chapa de acero es igual a la suma del peso propio de la losa y de la carga  $Q$  aplicada. En las estructuras apeadas, el puntal intermedio parte en dos la luz libre entre apoyos, y la flecha ( $f_0'$ ) que se registra es sensiblemente inferior a la flecha  $f_0$  (registrada por el mismo forjado no apuntalado). Por aproximación se puede afirmar que la flecha  $f_0'$  es igual a 0. Durante el fraguado, del hormigón la chapa no presenta tensión, siendo el puntal que aguanta el peso propio del hormigón vertido. Una vez fraguado el hormigón, quitando el puntal y aplicando a la estructura una carga  $Q$ , se comprueba el forjado a todas las solicitaciones presentes. Una vez más el colapso se produce por alcanzar el Estado Límite Último a momento rasante: en este caso, la carga  $Q$  determina la rotura de la losa. En las tablas de sobrecarga admisible no es lícito añadir el peso propio de la losa al valor registrado durante el ensayo a rotura de la losa.

Resumiendo, en una estructura no apeada, es lícito añadir el peso propio del forjado al valor de sobrecarga de uso registrado, debido a que la estructura ya había asumido esta carga (el peso propio) antes de fraguar: la flecha  $f_0$  representa la deformación correspondiente a la tensión interna de la chapa generada por el vertido del hormigón.

