

Long Carbon Europe  
Sections and Merchant Bars



ArcelorMittal

ACB<sup>®</sup>

Vigas alveolares





La solución inteligente  
para grandes luces

# Índice

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción                                                                                | 3  |
| 2. Campos de aplicación                                                                        | 4  |
| 3. Concepto – fabricación                                                                      | 6  |
| 4. Tolerancias de vigas ACB®                                                                   | 13 |
| 5. Vigas alveolares simétricas en aplicaciones de cubiertas Y de forjados de chapa colaborante | 15 |
| 6. Vigas alveolares asimétricas en aplicaciones de Forjados mixtos                             | 21 |
| 7. Estabilidad ante el fuego y seguridad en caso de incendio                                   | 25 |
| 8. Vigas ACB®: una solución para el desarrollo sostenible                                      | 27 |
| 9. Ábacos de predimensionamiento ACB®                                                          | 29 |
| 10. Ábacos de predimensionamiento: ejemplos de Aplicación                                      | 37 |
| Asistencia técnica y Acabado                                                                   | 40 |
| Sus partners                                                                                   | 41 |



# 1. Introducción

Desde hace una década las vigas alveolares observan un uso creciente tanto en el ámbito de la construcción metálica como en la exploración de nuevas soluciones estructurales.

La utilización de vigas alveolares posibilita una expresión arquitectónica nueva. Aligeran las estructuras y aumentan las luces, lo que permite garantizar la modularización de los espacios. Esa flexibilidad va ligada a la funcionalidad, al permitir el paso de equipamientos técnicos (conductos, tuberías) a través de los alveolos. La ligereza de las vigas alveolares, combinada con su gran resistencia, no cesa de inspirar a los arquitectos formas estructurales siempre nuevas.

Los avances llevados a cabo en diversos aspectos posibilita el que el uso de las vigas alveolares se extienda:

- **Fabricación**

La optimización de los métodos de fabricación (oxicorte, curvado, etc.) permite adaptarse a las exigencias de los contratistas y garantizar un rápido suministro de las vigas alveolares.

- **Normalización**

Los Eurocódigos (Eurocódigo 3 para estructuras en acero y Eurocódigo 4 para estructuras mixtas acero-hormigón) permiten calcular la resistencia en situación de utilización normal, en situación accidental de incendio y en el caso de utilizarse acero de alto límite elástico S460.

- **Construcción mixta**

El dominio de la construcción mixta acero – hormigón en sus diferentes aspectos – realización de las conexiones, utilización de forjados de chapa colaborante, resistencia al fuego, confort de usuarios y durabilidad- ha contribuido mucho a la utilización de la solución vigas alveolares ACB en forjados.

- **Instrumentos de cálculo**

El desarrollo y la puesta a disposición de las oficinas de ingeniería y de los arquitectos de un instrumento de cálculo y de concepción (programa ACB) favorecen la utilización de vigas alveolares. Los métodos utilizados en dicho programa se basan en la explotación de los resultados de ensayos de vigas a tamaño real y de numerosos análisis numéricos.

## 2. Campos de aplicación

### 1. Cubiertas

La utilización de vigas ACB® como elementos de cubierta permite salvar grandes luces, cercanas a los 40 metros. Tanto en el caso en el que las vigas se utilicen como elementos independientes (vigas simplemente apoyadas) o continuos (dintel de pórtico), la competitividad de la solución ACB® está confirmada tanto por la conservación de las funcionalidades de las vigas en celosía como por la reducción de las intervenciones in situ durante el montaje.

Las vigas ACB® ofrecen a los arquitectos soluciones atractivas y prácticas en términos de utilización de espacio sin que se produzca un efecto de apantallamiento. El diámetro de las aberturas puede alcanzar el 80% de la altura total de la viga con la posibilidad de dejar únicamente una distancia mínima –necesaria en la fabricación– entre los alvéolos. Esta configuración de las vigas ACB® permite acentuar la transparencia y la «fusión» de las vigas en el espacio y la obra, conceptos muy estimados por los arquitectos.

### 2. Forjados

Las construcciones modernas exigen cada vez más el acondicionamiento de instalaciones técnicas (calefacción, ventilación, aire acondicionado, etc.) en el interior del espacio disponible.

La utilización de vigas alveolares ACB® aporta, en la actualidad, respuestas eficaces a las exigencias de los propietarios de edificios. Esta solución permite la creación de grandes espacios libres en distancias que pueden alcanzar hasta 18 metros y posibilita el paso de conductos diversos a través de los alvéolos.

El espesor total del forjado es de entre 25 y 40 cm. menor que el de las soluciones convencionales. Para edificios corrientes de una altura impuesta del orden de 35 a 40 metros, una ganancia de sólo 20 cm. en el espesor del forjado posibilita la obtención de un piso adicional.

Para edificios con un número de pisos impuestos (de dos a seis niveles de forjados), la ganancia resulta del ahorro en el costo de fachadas, pilares, estructuras de estabilidad, tabiques de separación, así como en los pozos de circulación vertical.

Figura 1: Viga ACB® de cubierta



Figura 2: Rehabilitación con la ayuda de vigas alveolares ACB®



### 3. Aplicaciones específicas

#### 3.1. Rehabilitación

Con el fin de conservar el patrimonio arquitectónico, para consolidar y reutilizar o modernizar edificios antiguos se utilizan estructuras ligeras y flexibles basadas en vigas alveolares ACB® (Fig. 2).

#### 3.2. Pilares y elementos de fachada

Una aplicación muy elegante es la representada por la combinación de vigas-pilares ACB® (Fig. 3). Se obtiene su máxima eficacia en aplicaciones de pequeña carga axial.

#### 3.3. Vigas para aparcamientos

Cuatro razones fundamentales llevan a recomendar el empleo de vigas alveolares ACB® en la construcción de aparcamientos cuando no se requiere justificación alguna de resistencia al fuego:

- Las luces tradicionales (15 a 16 m) están en la gama de las luces típicas
- Se facilita la evacuación del agua gracias a la utilización de vigas ligeramente curvadas,
- Los alvéolos mejoran el aspecto interior de esas obras,
- Los alvéolos facilitan la evacuación de humos permitiendo una mejor circulación entre compartimentos.

#### 3.4. Vigas para estructuras offshore

En los casos en que dicha industria requiera:

- Una estructura que una a la vez resistencia y peso ligero, o
- La posibilidad de pasar canalizaciones, las vigas alveolares aparecen claramente indicadas teniendo en cuenta sus características. En el caso de cargas especialmente elevadas se recomienda la utilización de aceros HISTAR®.

Figura 3: Combinación de viga-pilar ACB®

### 3. Concepto – fabricación

Las vigas ACB® se fabrican en modernas instalaciones en la fábrica de laminación de grandes vigas que ArcelorMittal posee en Differdange (Luxemburgo). La proximidad entre instalaciones y fábrica reduce el transporte, aumenta la capacidad de reacción y contribuye a aumentar la competitividad en costes de fabricación.

El método de fabricación patentado de las vigas alveolares ACB® se basa en la utilización exclusiva de vigas laminadas en caliente.

Mediante oxicorte, se practica un doble corte en el alma. Las dos T así creadas se sueldan de nuevo tras desplazarlas entre sí una semi-onda, lo que se traduce en un aumento de canto de la viga (Fig. 4).

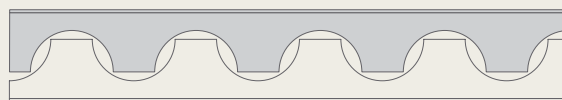
El producto estructural así obtenido presenta una relación inercia/peso mejorada

Los programas de corte se realizan por control numérico con el fin de garantizar el ajuste perfecto de los alvéolos (Fig. 5). La fabricación de las vigas en paralelo permite reducir los costes de producción.

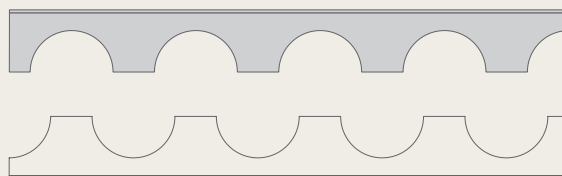
En los diagramas adjuntos se observa claramente que la longitud de las soldaduras resulta ser pequeña. Los cordones de soldadura se controlan visualmente o, bajo pedido previo, siguiendo las especificaciones concretas del diseñador de la obra o del cliente.

**Figura 4: Esquema de fabricación de una viga ACB®**

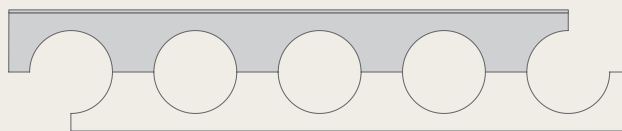
**Etapa 1:  
Oxicorte**



**Etapa 2:  
Separación en Tés**



**Etapa 3:  
Re-ensamblado/soldadura**



**Figura 5: Mesa de oxicorte de vigas laminadas en caliente**



Fabricación de vigas ACB®

## 1. Elección del diámetro y de la distancia entre Alvéolos

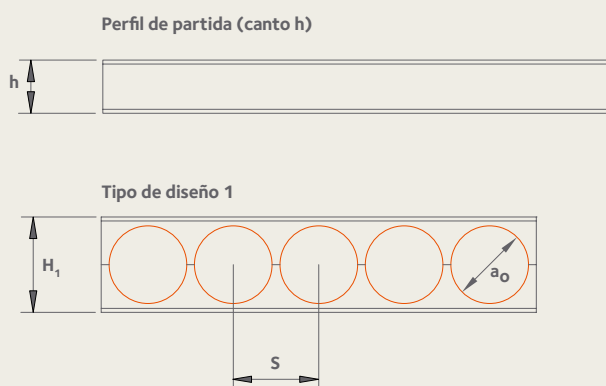
A partir de un perfil de partida, existe una gran cantidad de combinaciones posibles de diámetros y de distancia entre ejes de alveolos (Fig 6). La elección se realiza teniendo en cuenta el siguiente principio:

El ajuste final de varios milímetros en la distancia entre ejes permite que los extremos de las vigas se obtengan en la zona de alma llena, sin aberturas.

Figura 6: Definición de una viga ACB®

### Objetivos:

Optimización de la relación canto/peso



$$\begin{aligned} a_0 &= 1,0 \text{ to } 1,3 h \\ S &= 1,1 \text{ to } 1,3 a_0 \\ H_1 &= 1,4 \text{ to } 1,6 h \end{aligned}$$

### Aplicaciones:

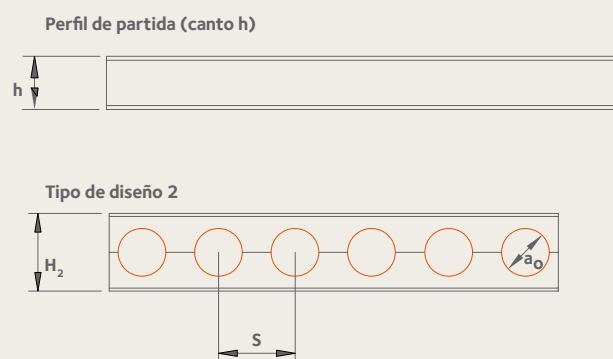
Cubiertas  
Pasarelas  
Correas de gran luz

### Clases de acero más utilizadas:

S235, S355

### Objetivos:

Optimización de la relación carga/peso



$$\begin{aligned} a_0 &= 0,8 \text{ to } 1,1 h \\ S &= 1,2 \text{ to } 1,7 a_0 \\ H_2 &= 1,3 \text{ to } 1,4 h \end{aligned}$$

### Aplicaciones:

Forjados  
Aparcamientos  
Estructuras offshore  
Pilares

### Clases de acero más utilizadas:

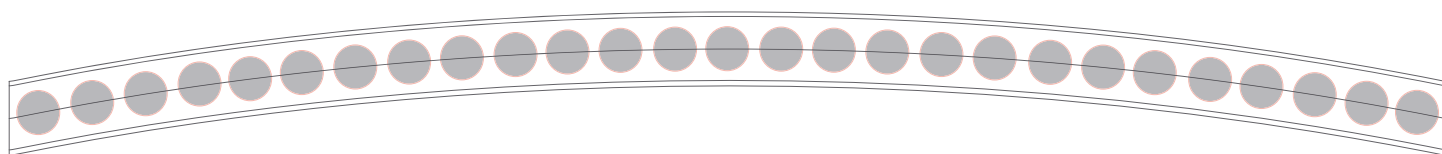
S355, H1STAR® 460 (S460)



## 2. Elección del perfil longitudinal

### 2.1. Vigas alveolares curvadas o contraflechadas

Durante la fabricación es fácil curvar las Tés (antes de soldarlas de nuevo) para obtener, sin excesivo incremento de coste, una viga alveolar curvada o con contraflecha. (Fig 7).



**Figura 7: Ejemplo de viga ACB® curvada**

La contraflecha es lo suficientemente importante para evitar todo riesgo de uso de la viga en sentido contrario.

Estas vigas resultan indicadas especialmente en la optimización de las vigas para forjados. la forma impuesta se mantiene muy estable, incluso después de un tratamiento de galvanización.

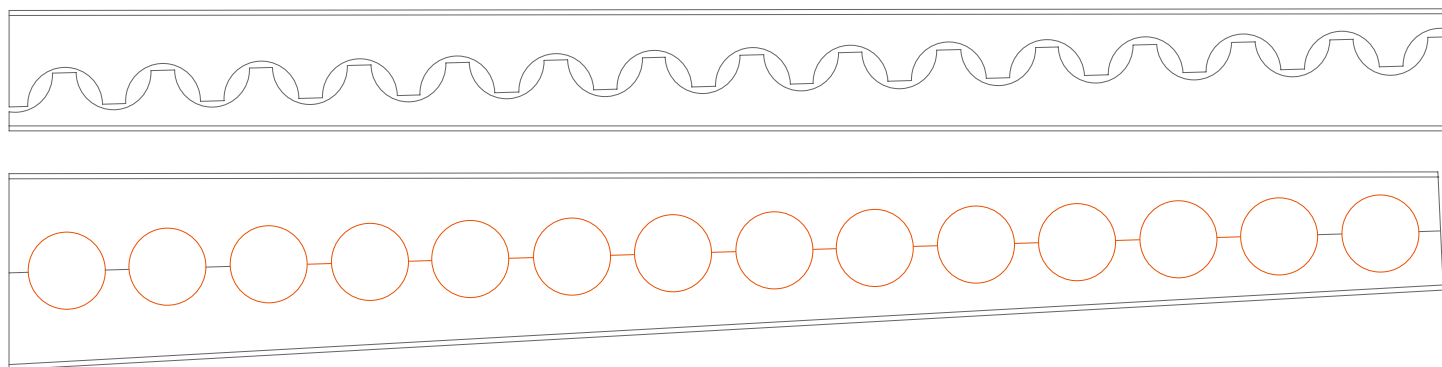
### 2.2. Vigas de inercia variable

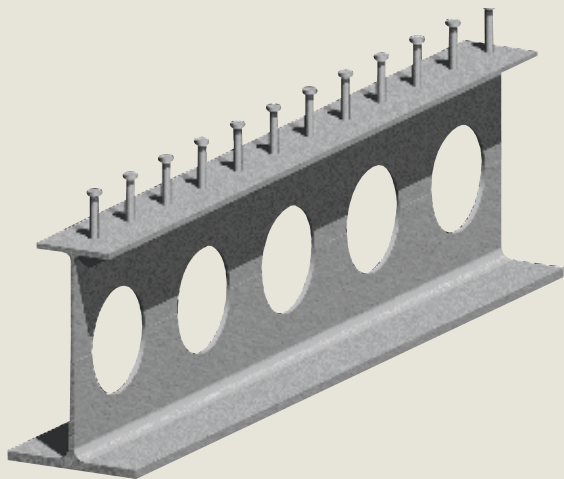
Las vigas de inercia variable se fabrican inclinando el eje de corte y dando la vuelta a una de las Tés (Fig. 8).

Las aplicaciones más frecuentes de las vigas con estas formas son las siguientes:

- Ménsulas alargadas (tribuna de estadio, ...)
- Vigas continuas (pasarelas, ...)
- Dinteles de pórticos

**Figura 8: Ejemplo de una viga ACB® de inercia variable**





### 2.3. Vigas asimétricas

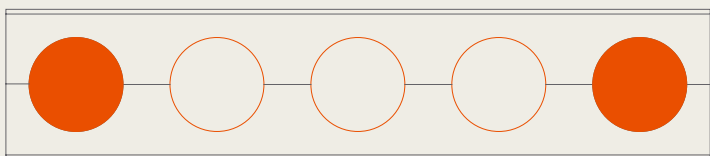
Las vigas asimétricas se adaptan particularmente bien al funcionamiento en modo mixto (en combinación con la losa del forjado) y se obtienen volviendo a ensamblar Tés provenientes de perfiles o de calidades de acero diferentes. (Fig. 9).

Las vigas alveolares constituyen una aportación fundamental a la construcción de forjados mixtos.

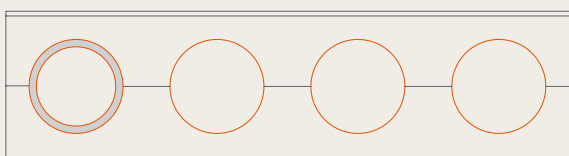
**Figura 9: Ejemplo de viga ACB® asimétrica**



**Figura 10: Ejemplo de viga ACB® con abertura alargada**



**Figura 11a: Ejemplo de viga ACB® con alvéolos cerrados**



**Figura 11b: Ejemplo de viga ACB® con alveolo reforzado**



### 2.4. Aberturas alargadas

En ocasiones es necesario recortar el espacio entre 2 alvéolos. En la medida de lo posible, ese corte debe realizarse hacia la mitad de la viga (Fig. 10), en la zona de menor esfuerzo cortante. Cuando dicha abertura alargada deba situarse cerca de los apoyos, con frecuencia es necesario rigidizar el borde.

### 2.5. Cierre de alvéolos

Debido a los límites impuestos por los esfuerzos cortantes en la zona de las uniones, o por razones de seguridad (en caso de incendio) en ocasiones se hace necesaria la obturación completa de algunos alvéolos (Fig. 11a). Para ello, se insertan y sueldan discos de chapa a ambos lados. Los espesores de la chapa y del cordón de soldadura se optimizan en función de las tensiones locales.

### 2.6. Refuerzo circular

En caso de que por razones estéticas sea necesario mantener la abertura, un zuncho soldado a lo largo del contorno de la abertura permite aumentar su rigidez (Fig. 11b).



**Ejemplo de viga ACB® con alveolo cerrado**



Alvolos parcialmente cerrados permiten la unión

## 2.7. Reforzamiento del montante

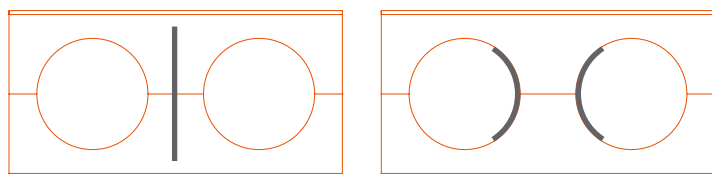
El criterio de un funcionamiento correcto en el estado límite de servicio exige una rigidez a flexión adecuada para poder reducir las deformaciones y las vibraciones. Las estructuras fabricadas con vigas alveolares se pueden optimizar gracias al aumento de la inercia obtenido en combinación con espesores de alma reducidos, lo que facilita la utilización de perfiles IPE e IPE A.

Con frecuencia, el ingeniero se enfrenta a situaciones en las que la optimización no se puede llevar a cabo con eficacia, debido al riesgo de pandeo de uno o dos montantes cercanos a los apoyos entre los alveolos extremos. Las soluciones previstas para estos casos son cuatro:

- Cerrar los alvéolos, lo que puede suponer un problema de limitación a la libertad de paso,
- Reforzar las aberturas con zunchos manteniendo así la libertad de paso,
- Elegir un perfil más resistente
- Elegir una calidad de acero superior con el fin de disminuir el nivel de tensiones con respecto de la tensión admisible.

Alternativamente, estudios experimentales han demostrado la eficacia de un simple rigidizador soldado al montante crítico (Fig. 12). También se pueden utilizar dos trozos de zunchos.

Figura 12: Dispositivos que permiten evitar el pandeo del montante



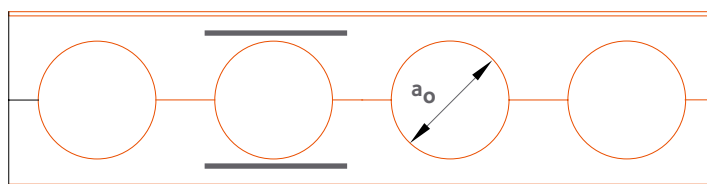
Simple rigidizador

Dos trozos de zunchos

## 2.8. Absorción de cargas puntuales

La aparición de una plastificación localizada junto a un alveolo cualquiera (normalmente se trata de alvéolos aislados cercanos a cargas concentradas o junto a secciones sometidas a solicitaciones máximas) puede evitarse con la aplicación de rigidizadores a ambos lados del alveolo (Fig. 13).

Figura 13: Disposición de rigidizadores para evitar la plastificación local



## 3. Trabajos de soldadura

Los trabajos de soldadura se ejecutan por soldadores cualificados, siguiendo lo dispuesto en la norma europea EN 287-1, para los procesos MAG 135 y MAG 136. Para vigas ACB® standard se utiliza la técnica de soldadura «a tope». El espesor de los cordones de soldadura no necesita generalmente de una soldadura de penetración plena.

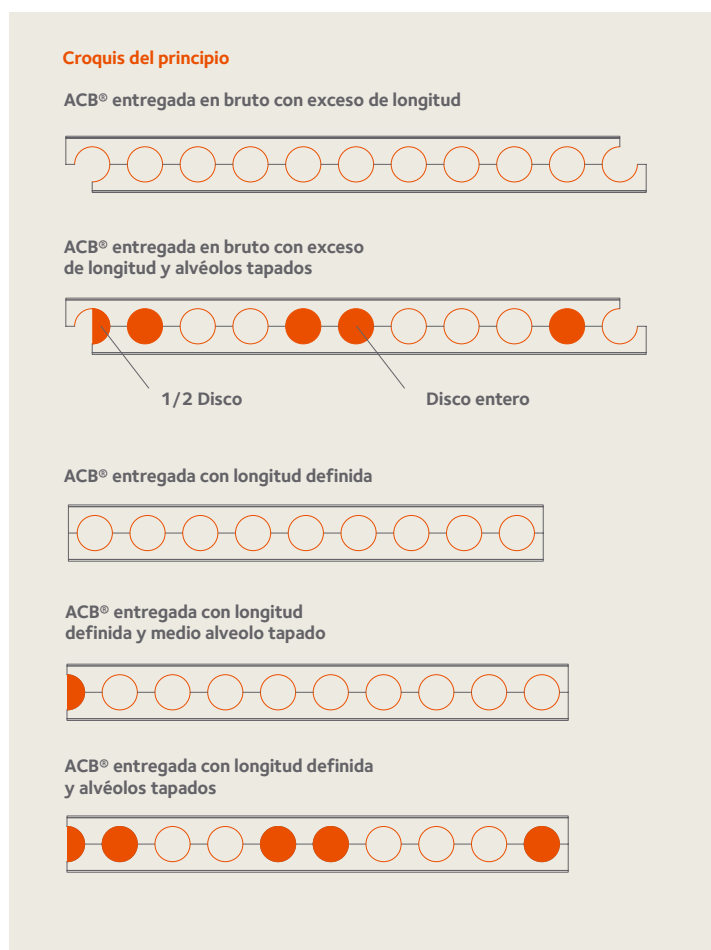
Una investigación basada en ensayos reales ha permitido validar el modelo utilizado en el programa ACB. Este modelo permite calcular el cordón necesario para resistir las solicitaciones existentes.



#### 4. Tipos de fabricación

Las vigas ACB® pueden demandarse según las variantes mostradas en los ejemplos de la figura 14:

Figura 14: Posibilidades de suministro de vigas ACB®

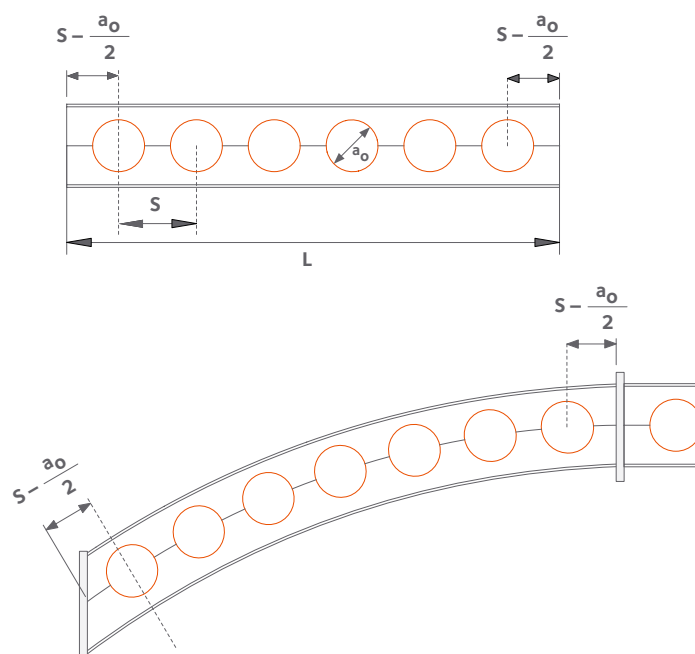


#### 5. Empalme de vigas ACB®

Desde la concepción de la estructura deberá ponerse un cuidado especial en el posicionamiento de los alvéolos, con el fin de evitar obturaciones inútiles (Fig. 15).

- Inicialmente la viga se optimiza desde el punto de vista estructural.
- La segunda fase sirve para adaptar la distancia entre alvéolos con el fin de tener zonas de alma llena en los extremos de las vigas. La fórmula para calcular la distancia entre alvéolos es la siguiente:  $S = L + a_o / (n+1)$  [n = número de alvéolos]

Figura 15: Optimización de la posición de los alvéolos





Limassol Sports Hall,  
Chipre

## 6. Realización de las uniones

Desde el diseño inicial es necesario definir adecuadamente la distancia entre alvéolos y las zonas de los extremos de la viga con el fin de tener en cuenta la presencia de uniones y de su correcta ejecución. En los casos en los que sea necesario cerrar total o parcialmente una o dos alveolos, el cierre parcial es el más fácil y económico (fig. 16)

## 7. Curvatura de vigas ACB®

La curvatura de vigas ACB® puede llevarse a cabo sin problema alguno en el proceso de fabricación de la viga.

El curvado puede ser necesario por los siguientes motivos:

- Exigencias arquitectónicas de los elementos de cubrimiento
- Compensación de la flecha debido al peso propio de los forjados.

Bajo pedido pueden realizarse otras formas de curvado o contraflechado. La contraflecha mínima es de 15 mm.

Figura 16: Ejemplos de cierre parcial de alvéolos para la realización de uniones

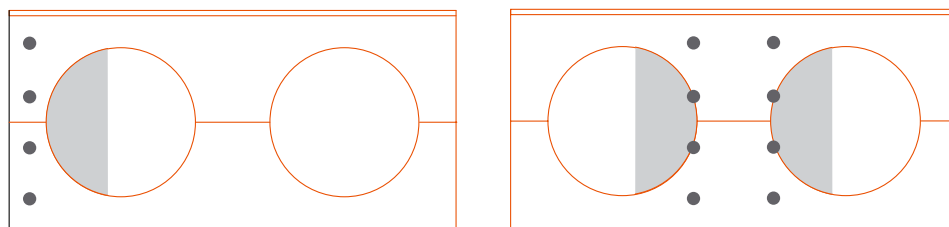
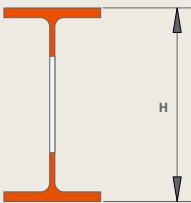
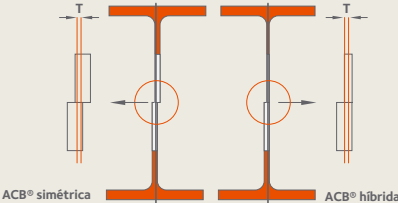
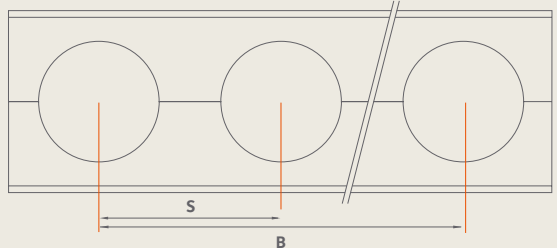


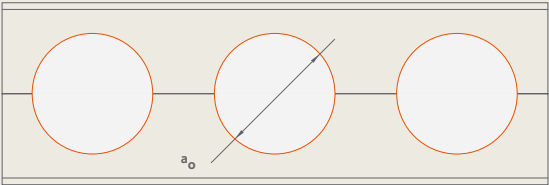
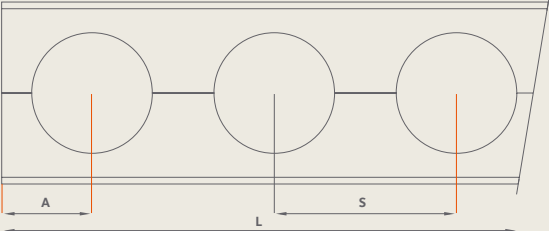
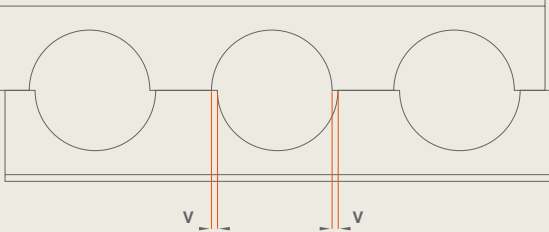
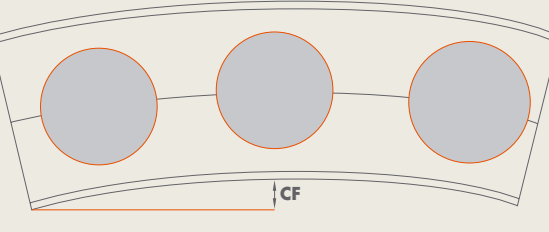
Tabla: Radios mínimos realizables para vigas ACB® curvadas

| Peso máximo del perfil kg/m | Radio mínimo realizable (m) | Ejemplos de contraflecha (mm) en función de la longitud de la viga ACB® (m) |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                             |                             | 10.00                                                                       | 12.00 | 14.00 | 16.00 | 18.00 | 20.00 | 22.00 | 24.00 |
| 90                          | 40                          | 314                                                                         | 453   | 617   | 808   | 1 026 | 1 270 | 1 542 | 1 842 |
| 110                         | 50                          | 251                                                                         | 361   | 492   | 644   | 817   | 1 010 | 1 225 | 1 461 |
| 130                         | 65                          | 193                                                                         | 278   | 378   | 494   | 626   | 774   | 938   | 1 117 |
| 150                         | 75                          | 167                                                                         | 240   | 327   | 428   | 542   | 670   | 811   | 966   |
| 170                         | 90                          | 139                                                                         | 200   | 273   | 356   | 451   | 557   | 675   | 804   |
| 190                         | 100                         | 125                                                                         | 180   | 245   | 321   | 406   | 501   | 607   | 723   |
| 210                         | 115                         | 109                                                                         | 157   | 213   | 279   | 353   | 436   | 527   | 628   |
| 230                         | 125                         | 100                                                                         | 144   | 196   | 256   | 324   | 401   | 485   | 577   |
| 250                         | 140                         | 89                                                                          | 129   | 175   | 229   | 290   | 358   | 433   | 515   |

## 4. Tolerancias de vigas ACB®

### Tolerancias ACB®

|                                                                                                                             |                                                                                                                    |                                                 |                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                           | <p>Canto final ACB®: <b>H</b></p>                                                                                  | $H < 600$<br>$600 \leq H < 800$<br>$H \geq 800$ | $+ 3 / - 5 \text{ mm}$<br>$+ 4 / - 6 \text{ mm}$<br>$+ 5 / - 7 \text{ mm}$ |
|                                          | <p>Pliegue en el alma: <b>F</b></p>                                                                                | $H \leq 600$<br>$H > 600$                       | $F \leq 4 \text{ mm}$<br>$F \leq 0,01 H$                                   |
|  <p>ACB® simétrica      ACB® híbrida</p> | <p>Desalineamiento de las Tés: <b>T</b><br/>         (entre el eje de la T superior y el eje de la T inferior)</p> |                                                 | $T \leq 2 \text{ mm}$                                                      |
|                                          | <p>Distancia entre ejes: <b>S</b><br/>         Distancia del primer alveolo al último: <b>B</b></p>                |                                                 | $+ / - 0,01 S$<br>$+ / - 0,02 S$                                           |

|                                                                                     |                                                                                                   |                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p>Diámetro: <b>a<sub>o</sub></b></p>                                                             | <p>+ 5 / - 2 mm</p>                                                                                                       |
|  | <p>Longitud: <b>L</b><br/>         Distancia del primer alveolo al final de la viga: <b>A</b></p> | <p>+ / - 2 mm<br/>         + / - 0,02 S</p>                                                                               |
|  | <p>Desplazamiento de montantes: <b>V</b></p>                                                      | <p><math>V \leq 0.03 \% L</math><br/>         Example :<br/>         If L = 10000 mm <math>V \leq 3 \text{ mm}</math></p> |
|  | <p>Contraflecha: <b>CF</b></p>                                                                    | <p>+ / - 0,05 CF<br/>         CF min. 5 mm</p>                                                                            |

## 5. Vigas alveolares simétricas en aplicaciones de cubiertas y de forjados de chapa colaborante

Las vigas alveolares ACB empleadas en cubiertas y forjados metálicos suelen ser secciones doblemente simétricas: el cordón inferior y el superior provienen del mismo perfil de base (fig. 17).

El arquitecto tiene una gran libertad en la elección del diámetro y espaciamiento de alvéolos. Esos dos valores permitirán definir el perfil de base y deducir el canto final de la viga ACB®.

Pero el proceso puede ser también el inverso: partiendo de un canto final impuesto y unas características definidas para los alvéolos, el ingeniero puede obtener fácilmente el perfil de base que permita satisfacer dicha configuración.

### 1. Asistencia en el diseño

Como en el caso de los perfiles laminados, el diseño de un proyecto que utilice vigas ACB® debe basarse en criterios y límites que permitan obtener un resultado óptimo de las posibilidades que ofrecen estas vigas.

#### 1.1. Determinación del canto de las vigas ACB®

El canto  $H$  de una viga ACB® se determina en función de (Fig. 18) :

- La longitud ( $L$ ) y la distancia transversal entre vigas ( $B$ ),
- El valor de las cargas (utilización en cubierta o en forjados),
- La utilización de las ACB® como vigas principales (situación A) o viguetas (situación B),
- Los criterios de deformación (flechas admisibles en situaciones habituales o para casos particulares).

Figura 17: Obtención de una viga ACB® simétrica

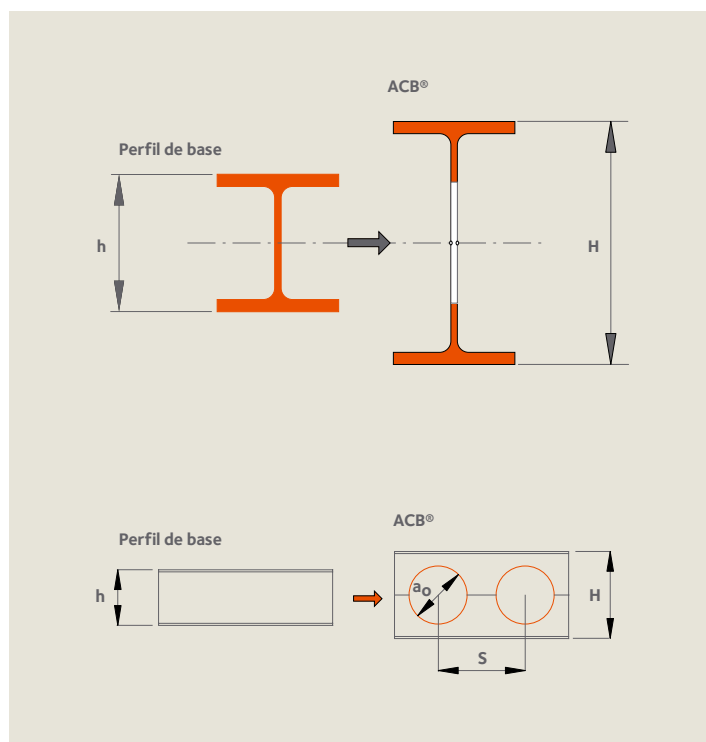
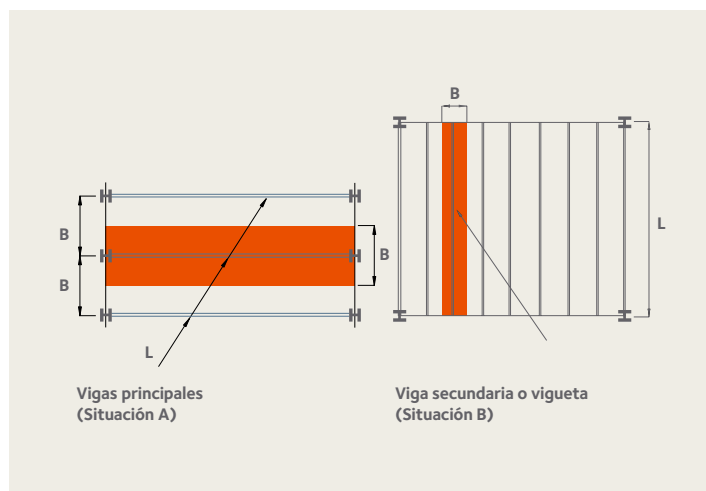


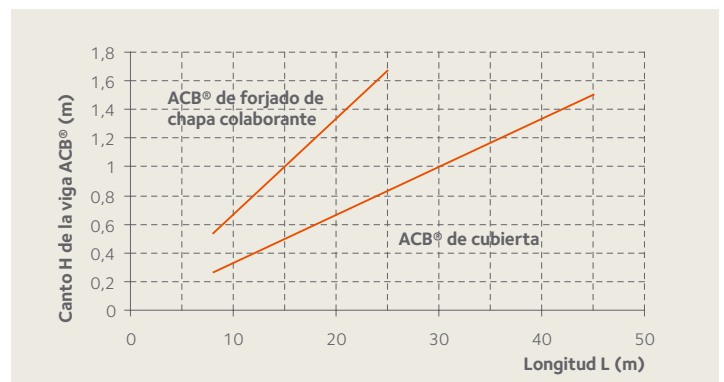
Figura 18: Utilización de vigas ACB® en forjados





Para el caso de proyectos habituales de cubiertas las vigas pueden tener una esbeltez (relación entre longitud/altura de la viga) variable entre 20 y 40 según las condiciones de apoyo. Para el caso de vigas de pórtico consideradas empotradas y para viguetas puede utilizarse como valor inicial el valor intermedio de 30 (fig. 19).

**Figura 19: Canto de las vigas ACB® en función de la longitud**

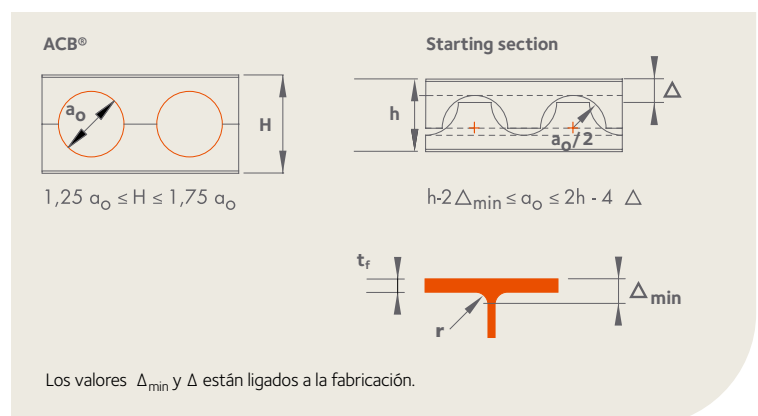


Para el caso de vigas utilizadas en forjados de edificios la esbeltez varía entre 10 y 20. Para el caso de sobrecargas de uso normales se puede utilizar, en fase inicial de diseño, un valor intermedio igual a 15.

## 1.2. Determinación del diámetro y de la distancia entre alvéolos

Normalmente la elección del diámetro y de la distancia entre alvéolos está guiada por exigencias arquitectónicas (transparencia y características de la iluminación a obtener) y funcionales ....(paso de conducciones a través de los alveolos). Sin embargo, hay límites geométricos que deben respetarse para obtener un buen comportamiento mecánico de las vigas ACB®. Esos límites hacen referencia a:

**Figura 20: Límites geométricos de los alvéolos de vigas ACB®**



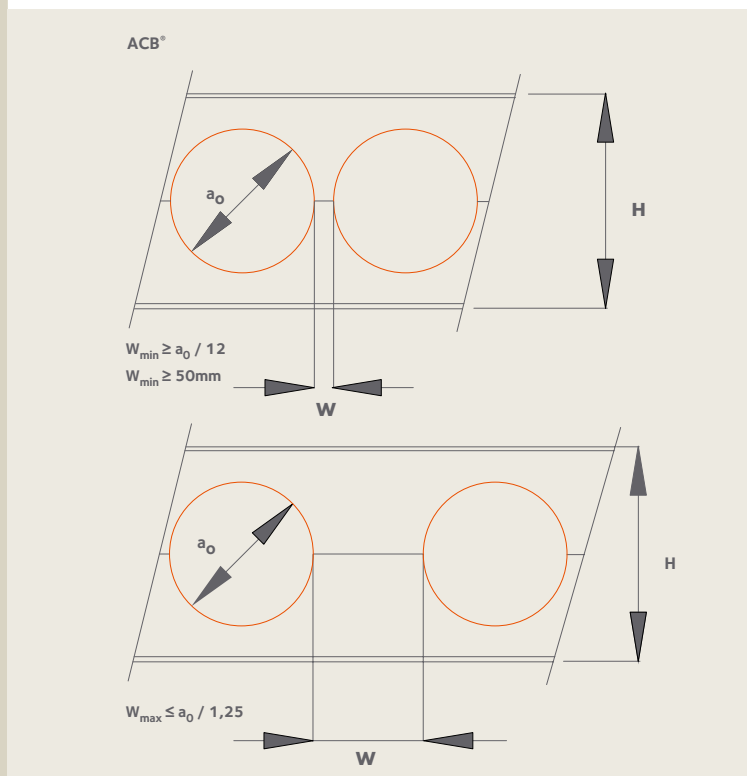
**El diámetro (Fig. 20):**

- Con relación a la viga ACB® acabada
- Con relación al perfil de base

**Distancia entre alvéolos (Fig. 21):**

En la determinación de la distancia entre alvéolos es necesario observar algunas reglas.

**Figura 21: Límites geométricos para la distancia entre alvéolos de vigas ACB®**



Se define una distancia mínima con el fin de garantizar un reensamblado adecuado de las dos partes de la viga ACB® y de evitar la presencia de zonas debilitadas en la viga.

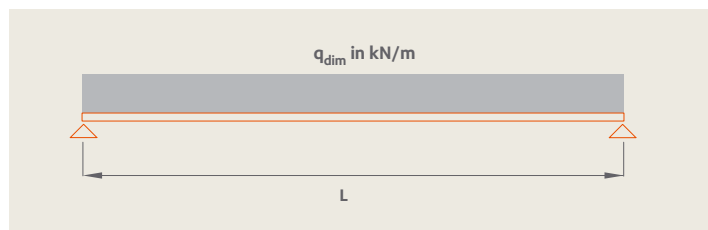
Asimismo, la distancia máxima resulta tanto de consideraciones de coste en la fabricación de vigas alveolares como del comportamiento mecánico de la viga que se aproxima al de una viga con alveolos aislados.

## 2. Predimensionamiento y tablas de rendimiento

De acuerdo con la definición geométrica, la sección ACB® a considerar en el proyecto puede determinarse a partir de las curvas de rendimiento (ver páginas 30 a 34 para aplicaciones de cubiertas y forjados con chapa colaborante), teniendo en cuenta las siguientes relaciones.

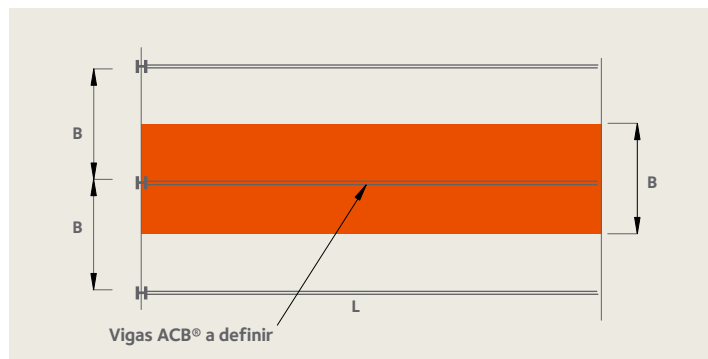
**Carga:**

**Figura 22: Variables a determinar previamente a la utilización de las tablas**



La carga de diseño (mayorada)  $q_{dim}$  debe compararse con la carga admisible  $q_u$ . La carga  $q_{dim}$  se calcula fácilmente a partir de la fórmula de ponderación:

$$q_{dim} = (1.35G + 1.5Q)B$$



donde:

B = distancia transversal entre vigas,

G = carga permanente por metro cuadrado,

Q = sobrecarga de explotación por metro cuadrado.

## Métodos:

El diseñador dispone de tres procedimientos para llevar a cabo el proyecto.

**1)** Determinación de la sección a partir de la carga  $q_{dim} \leq q_u$  y de la luz  $L$  para las calidades de acero S355 o S460 y para valores habituales de  $a_o$  y  $S$  (diámetro y distancia entre alvéolos).

$a_o = 1.05 h$ ;  $S = 1.25 a_o$  o  $S = 1.5 a_o$ .

Las curvas permiten obtener el perfil adecuado, en la intersección de dos líneas de identificación de  $q_{dim}$  y de  $L$ .

El valor  $H$  es el canto final del perfil ACB®.

**2)** Determinación de  $q_u$  para un perfil ACB® dado en función de  $L$ .

Tras localizar la curva ( $q_u$ ,  $L$ ) del perfil ACB® en cuestión, se determina la carga admisible  $q_u$ . Posteriormente, basta con comprobar que  $q_{dim} \leq q_u$ .

**3)** Determinación de la longitud máxima  $L$  en función de  $q_{dim} \leq q_u$  para un perfil ACB® dado.

La utilidad de este método radica en que permite identificar rápidamente la distancia máxima entre pilares.

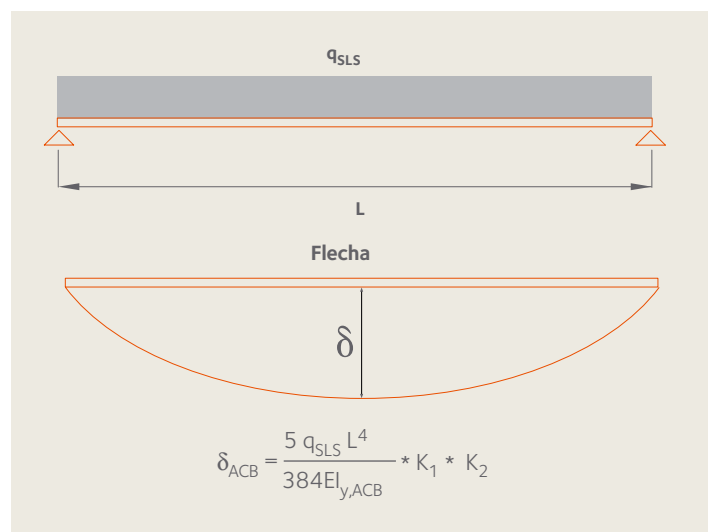
## Flecha admisible

Las curvas propuestas tienen en cuenta una limitación de flecha igual a  $L/250$  bajo  $q_{dim}/2$  (Fig. 23).

Para un valor de la carga diferente del utilizado en la realización de esas curvas, se puede aplicar el método siguiente en la fase de predimensionamiento.

La condición de flecha adoptada en el establecimiento de las curvas de predimensionamiento supone la consideración de unas condiciones normales en las cubiertas (carga permanente equivalente a la sobrecarga de explotación). Para obtener una evaluación rápida de la flecha tras la identificación de la sección ACB®, se pueden aplicar las fórmulas siguientes:

**Figura 23: Cálculo de la flecha a mitad de luz para una viga ACB® cargada uniformemente y de longitud  $L$ .**



$K_1$  es un coeficiente que permite tener en cuenta la esbeltez de la viga con alvéolos ( $L/H$ ). Su valor se obtiene por medio del gráfico de la figura 24a. Para valores de la esbeltez superiores a 30 se obtiene un valor del coeficiente  $K_1 = 1,05$ .

$K_2$  es un coeficiente que tiene en cuenta la sensibilidad de la viga al número de alvéolos ( $L/S$ ). Su valor se obtiene en el gráfico de la figura 24b. A partir de un índice  $L/S$  superior a 15 se obtiene un valor constante  $K_2 = 1,05$ .

$E$  = módulo de elasticidad del acero =  $210 \text{ kN/mm}^2$

$I_{y,ACB}$  = momento de inercia de la sección ACB® en la mitad de una sección con alveolo alrededor del eje y-y

$q_{SLS}$  = carga en el estado límite de servicio (no ponderada)

Figura 24a: Determinación del coeficiente  $K_1$

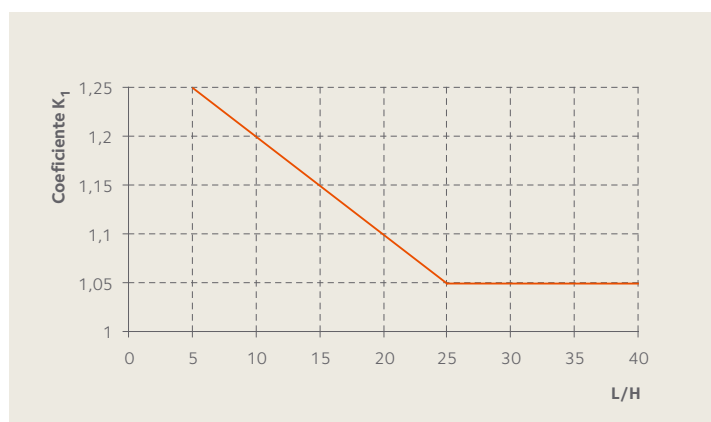
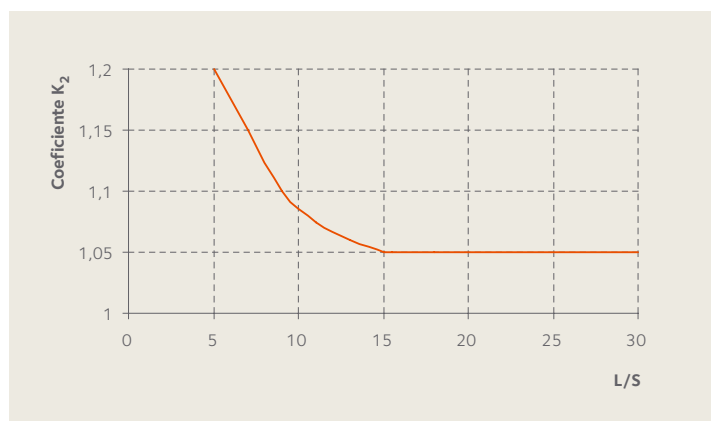


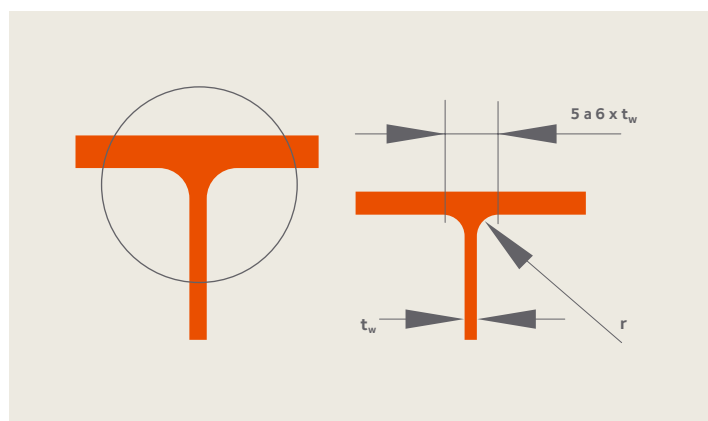
Figura 24b: Determinación del coeficiente  $K_2$



**Aviso importante:** las curvas de predimensionamiento tienen en cuenta el efecto favorable debido a la presencia del radio de acuerdo alma-ala de la viga laminada en caliente (Fig. 25).

Este radio de acuerdo proporciona un sobreespesor en el empalme alma-ala que asegura un empotramiento del alma por lo que se evita el posible pandeo de los montantes. La anchura del empotramiento del alma de las vigas ACB® puede alcanzar 5 a 6 veces el espesor mismo del alma.

Figura 25: Radio de acuerdo de vigas laminadas que aseguran un empotramiento de los montantes gracias a las alas





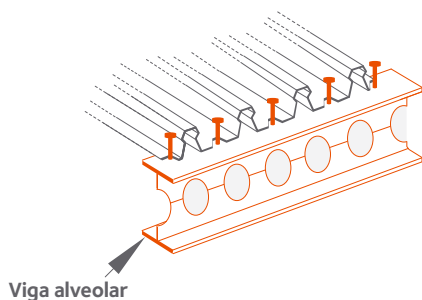
## 6. Vigas alveolares asimétricas en aplicaciones de forjados mixtos

La utilización de vigas ACB® asimétricas en forjados mixtos (Fig. 26) permite al mismo tiempo maximizar la altura libre bajo techo y las luces libres de pilares intermedios. De esta manera, con esta solución son posibles luces de hasta 30 metros. Para los forjados de edificios de oficinas las luces habituales con vigas ACB® son del orden de 18 metros.

Estas vigas ofrecen capacidades mecánicas que permiten optimizar el consumo de acero satisfaciendo, al mismo tiempo, las exigencias de confort y durabilidad.

Las vigas se distancian entre sí unos 2,5 a 3 metros en el caso de forjados de chapa colaborante y de 3 a 6 metros en el caso de prelosas prefabricadas, según las posibilidades de apuntalamiento. Los alveolos se separan entre sí de 1,25 a 1,5 veces el diámetro de los mismos, que, habitualmente alcanza un valor de 300 mm.

Figura 26: Vigas ACB® simétricas en la aplicación «forjados»

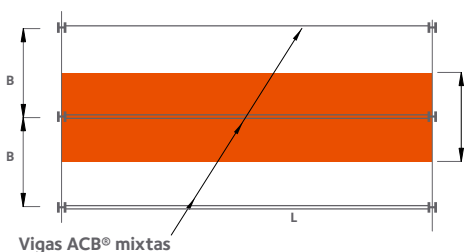


### 1. Ayuda al diseño

#### 1.1. Determinación del canto de vigas mixtas ACB®

Además de los criterios definidos anteriormente para vigas de cubierta es importante tener en cuenta el efecto de colaboración entre hormigón y acero con el fin de limitar las consecuencias de eventuales problemas que pueden afectar al hormigón durante el proceso de hormigonado y posteriormente, durante la utilización de la estructura, especialmente la retracción y la fluencia.

Figura 27: Aplicación mixta acero-hormigón de vigas ACB® en forjados



El canto H de la viga ACB® se define en función de:

#### Luz L

Para los casos de forjados mixtos la luz puede variar entre 8 y 30 metros. Si el vano es isostático, la losa de hormigón está comprimida a lo largo de toda la luz, mientras que si el vano es continuo el hormigón se agrieta en las zonas de los apoyos intermedios.

#### Separación B

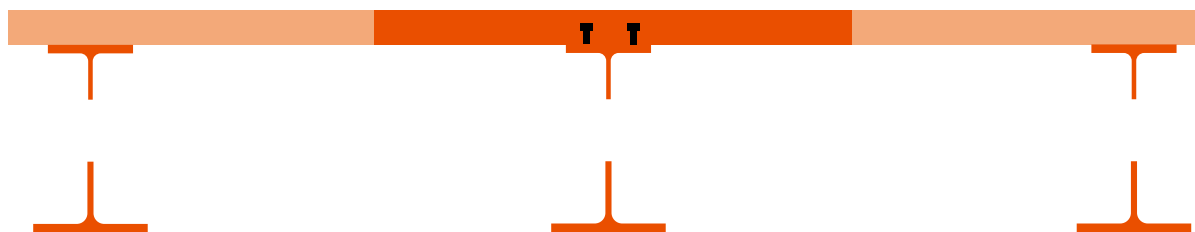
La separación entre vigas depende de tres parámetros:

- Utilización de forjados de chapa colaborante  
B = 2,5 a 3 metros sin apuntalamiento  
B = 3 a 5 metros con apuntalamiento
- Utilización de prelosas de hormigón pretensado  
B = 2,7 a 7 metros con apuntalamiento
- Canto total del forjado  $H_T$   
 $H_T$  representa el canto total de la sección mixta (altura H de la viga ACB® más el espesor de la losa)

A la hora de establecer la separación entre las vigas ACB® conviene observar las siguientes relaciones:

$$L/H_T > 20 : B = 2,5 \text{ a } 3 \text{ metros}$$

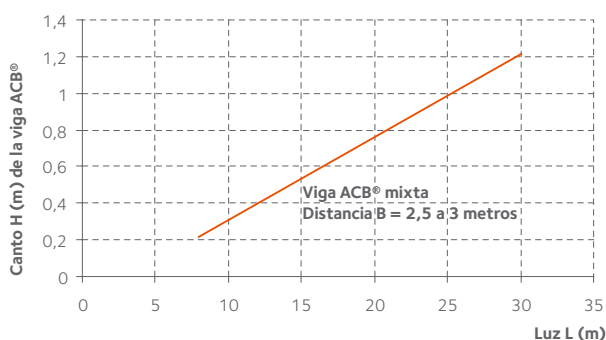
$$L/H_T < 15 : B = 3 \text{ a } 5 \text{ metros}$$



### El confort de los usuarios

En este punto se trata de garantizar al forjado una frecuencia fundamental propia superior a un valor mínimo del orden de 3 a 4 Hz. Cuanto mayores sean el peso y las sobrecargas de explotación, mayor debe ser la inercia de la viga ACB® mixta. Para una distancia entre vigas ACB® de 2,5 a 3 metros se puede adoptar un valor de la relación  $L/H_T = 20$ .

Figura 28: Canto H de la viga ACB® en función de la luz



### 1.2. Elección del diámetro y de la distancia entre alvéolos

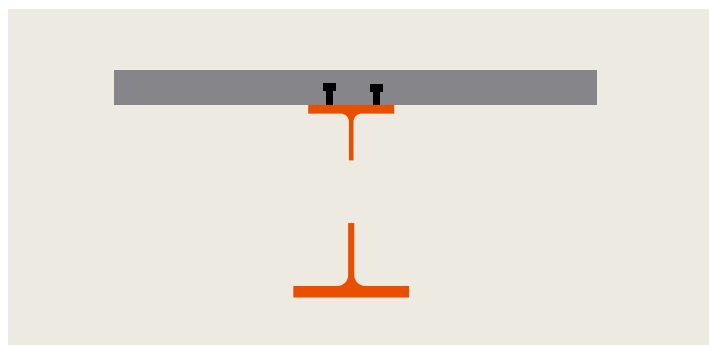
La elección del diámetro y de la distancia entre alvéolos normalmente está guiada por exigencias relativas al paso de conductos. En los forjados para oficinas un diámetro del orden de 250 a 350 mm permite hacer frente a la mayor parte de las situaciones. La distancia entre alvéolos S es del orden de 1,5 veces el diámetro  $a_0$ .

Por lo que se refiere a los valores máximos y mínimos del diámetro  $a_0$  y de la distancia entre alvéolos S en función del perfil de base, las reglas presentadas interioramente para vigas ACB® en acero también son válidas para vigas mixtas ACB®.

La posibilidad de utilizar perfiles asimétricos constituye una particularidad de las vigas mixtas ACB® (Fig. 29). En consecuencia, es importante tener en cuenta las dimensiones del perfil superior en el momento de definir las dimensiones de los alveolos.

Además, con el fin de conservar un comportamiento mecánico óptimo, conviene limitar la relación de asimetría a 4,5 (entendido como relación entre el área del ala inferior y el área del ala superior).

Figura 29: Viga ACB® mixta con perfil metálico asimétrico



## 2. Predimensionamiento y tablas de rendimiento

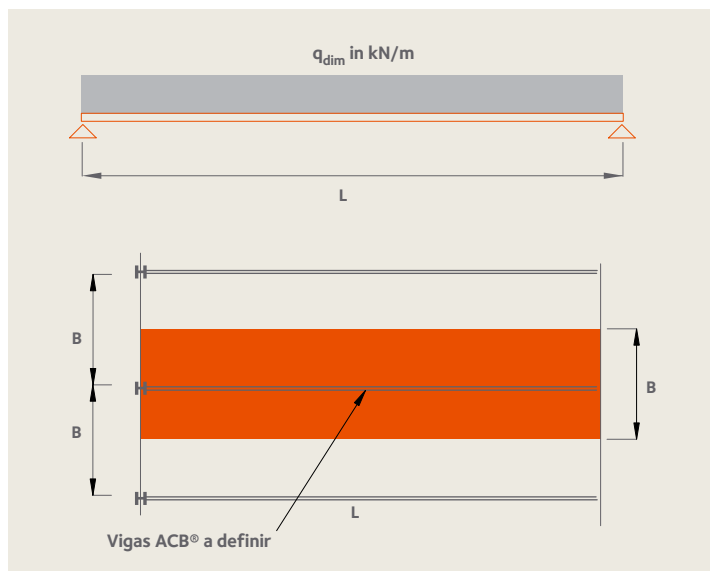
Para utilizar adecuadamente las curvas de predimensionamiento (véase páginas 35-36 para aplicaciones de forjados mixtos), hay que tener en cuenta las siguientes hipótesis:

### Carga

La carga de diseño  $q_{dim}$  ha de compararse con la carga máxima admisible  $q_u$ .

$$q_{dim} = (1,35G + 1,5Q)B$$

Figura 30: Variables a determinar para la utilización de las tablas



donde:

$B$  = distancia entre vigas,

$G$  = carga permanente por metro cuadrado,

$Q$  = sobrecarga de explotación por metro cuadrado.

### Materiales

Las curvas son válidas para aceros S355 y S460 y dos clases de hormigón normal C25/30 y C30/37.

### Losa y conexión

Para la elaboración de estas tablas se ha considerado una losa mixta de chapa colaborante. Se han tomado como referencia dos espesores de losa de 12 y 14 cm (valor del espesor total para una altura de nervadura de 60 mm). En la elaboración de las tablas de rendimiento se ha considerado también la hipótesis de conexión completa entre la losa y el perfil ACB®. El tipo de conexión deberá ser definido por el usuario.

### Diámetro y distancia

Las curvas cubren los valores habituales de diámetro  $a_0$  y de distancia  $S$  entre alveolos.

$$(a_0 = 1,05 h, S = 1,25 a_0 \text{ y } S = 1,5 a_0)$$

### Métodos

Se puede aplicar los mismos métodos expuestos anteriormente. Debe tenerse en cuenta que la carga admisible  $q_u$  ha sido definida con los parámetros:

$$B = 3 \text{ metros}$$

$$G = G_1 + G_2$$

$G_1$  representa el peso propio de la viga ACB® y el peso de la losa de hormigón normal de un espesor de 12 cm ( $g_{losa} = 2 \text{ kN/m}^2$ ) o de 14 cm ( $g_{losa} = 2,5 \text{ kN/m}^2$ ) (chapa colaborante con altura de nervadura de 6 cm),

$G_2$  representa las cargas permanentes adicionales, habiéndose tomado para ellas un valor de  $0,75 \text{ kN/m}^2$ .

La carga de diseño  $q_{dim} = (1,35 G + 1,5 Q) B$  debe compararse con la carga máxima admisible  $q_u$ .

Deberá cumplirse que  $q_{dim} \leq q_u$

### Fase de hormigonado

En la elaboración de tablas de pre-dimensionamiento se ha considerado la hipótesis de viga apuntalada y arriostrada lateralmente.

### Flecha admisible

Las curvas propuestas tienen en cuenta una limitación de flecha igual a  $L/350$  bajo una sobrecarga de explotación  $Q$ .



## 7. Estabilidad ante el fuego y seguridad en caso de incendio

### **La estabilidad ante el fuego exigida a las vigas alveolares puede garantizarse mediante revestimiento proyectado o mediante pintura intumescente.**

En edificios de oficinas, donde la normativa exige habitualmente una resistencia al fuego de una hora, la mejor solución consiste en la aplicación de mortero si las vigas no quedan vistas (Fig. 31)

Con el fin de evitar dañar la protección antifuego alrededor de los alveolos al colocar los conductos técnicos resulta habitual prever diámetros de alveolos superiores entre 3 y 5 cm. a los de los conductos que los atraviesan.

Asimismo conviene prestar especial atención a la colocación de tuberías, conductos o falsos techos. En algunos casos el producto puede proyectarse sobre estructuras de acero sin protección anticorrosión.

La superficie a proteger contra los incendios es prácticamente idéntica a la del perfil de base.

En ocasiones es necesario dar un sobre espesor de entre 2 y 3 cm. de capa protectora alrededor de los alvéolos, con el fin de garantizar la protección del borde.

En el caso de elementos alveolares visibles – es decir, pilares de fachada o vigas de cubierta – la aplicación de una pintura intumescente garantiza la resistencia al fuego y mantiene la estética arquitectónica del elemento estructural.

La aplicación de capas aislantes en vigas alveolares es idéntica al caso de las vigas de alma llena. El espesor a aplicar se determina generalmente por medio de ábacos facilitados por los suministradores de productos de

protección en función del factor de masividad y del modo de fallo. Ese espesor también puede calcularse por simulación numérica.

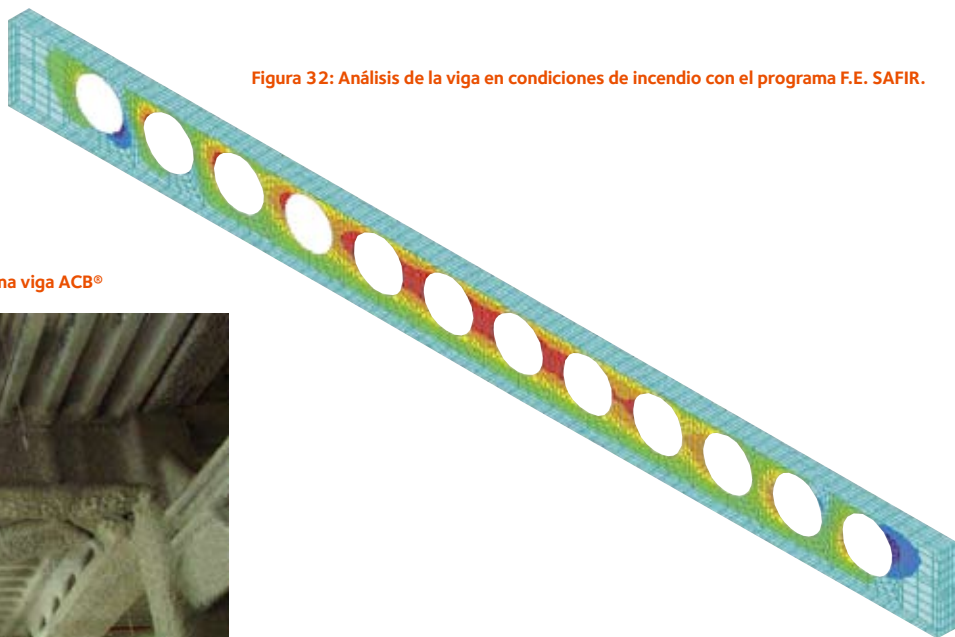
El servicio de Asistencia Técnica de ArcelorMittal utiliza el programa SAFIR adaptado especialmente al cálculo de vigas celulares.

La protección pasiva (revestimiento proyectado, pintura intumescente) puede ser reducida, y, en ocasiones incluso evitada, si por medio de un estudio basado en el concepto de fuego natural según la EN1991-1-2 se demuestra que la seguridad está garantizada.

**Figura 31: Protección mediante aplicación de mortero en una viga ACB®**



**Figura 32: Análisis de la viga en condiciones de incendio con el programa F.E. SAFIR.**





## 8. Vigas ACB®: una solución para el desarrollo sostenible

La política medioambiental del grupo ArcelorMittal se inscribe en un objetivo de desarrollo sostenible que pretende establecer a largo plazo un equilibrio entre el medio ambiente, el bienestar y la economía.

Las plantas de fabricación de productos largos de ArcelorMittal funcionan siguiendo los criterios del sistema de gestión medioambiental definido por la norma ISO 14001. La mayor parte de las fabricas de productos largos de ArcelorMittal utilizan la tecnología de horno eléctrico para fabricar el acero.

Esta nueva tecnología utiliza principalmente chatarra reciclada como materia prima y permite lograr reducciones sustanciales en la emisión de elementos contaminantes y en el consumo de energía primaria.

La utilización de vigas ACB® permite:

- Reducir la cantidad de materiales de construcción gracias a la favorable relación resistencia/peso, a la posibilidad de utilizar vigas asimétricas y al empleo de aceros de alta resistencia,
- Limitar el transporte y los perjuicios gracias al aligeramiento de las estructuras,
- Acelerar la construcción gracias a la prefabricación,
- Reducir los residuos y daños en obra gracias a la utilización de montajes en seco,
- Diseñar edificios susceptibles de ser desmontados y reutilizados con otros fines,
- Aumentar la superficie utilizable,
- Satisfacer las exigencias medioambientales a través de productos 100% reciclados y 90% reciclables.

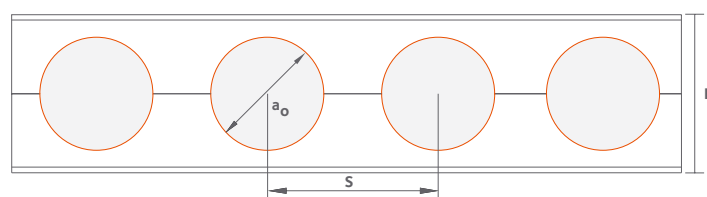


## 9. Ábacos de predimensionamiento ACB®

Los ábacos de predimensionamiento han sido realizados considerando los valores característicos definidos en los capítulos 5.2 a 6.2.

Nuestra página web ofrece un catálogo completo de las configuraciones estudiadas:

[www.arcelormittal.com/sections](http://www.arcelormittal.com/sections)



**Se han definido tres categorías de ábacos:**

### Ábacos de predimensionamiento de vigas de cubierta

Calidad del acero S355.

Para estos ábacos la distancia óptima entre alvéolos es

$$S = 1,25 a_0.$$

Los perfiles considerados para un primer diseño son: IPE para cargas débiles, HEA para cargas medias y HEM para cargas elevadas y para los casos en que sea necesario tener en cuenta una limitación del canto final.

### Ábacos de predimensionamiento de vigas para forjados metálicos

Calidades de acero S355 y S460.

Para estos ábacos la distancia óptima entre alvéolos es

$$S = 1,5 a_0.$$

Los perfiles considerados para un primer diseño son: IPE para cargas débiles, HEA para cargas medias y HEM para cargas elevadas y para los casos en que sea necesario tener en cuenta una limitación del canto final.

### Ábacos de predimensionamiento de vigas para forjados mixtos

Calidades de acero S355 y S460.

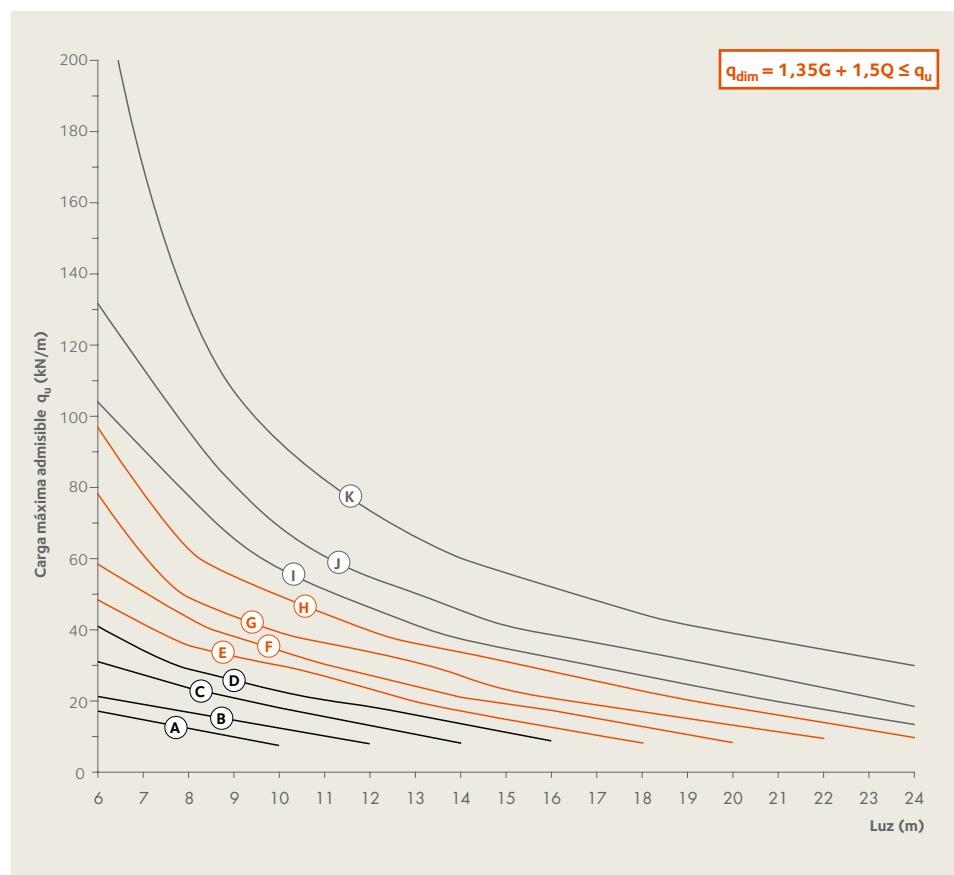
Para estos ábacos la distancia óptima entre alvéolos es

$$S = 1,5 a_0.$$

Las configuraciones de perfiles consideradas varían en función de las cargas aplicadas

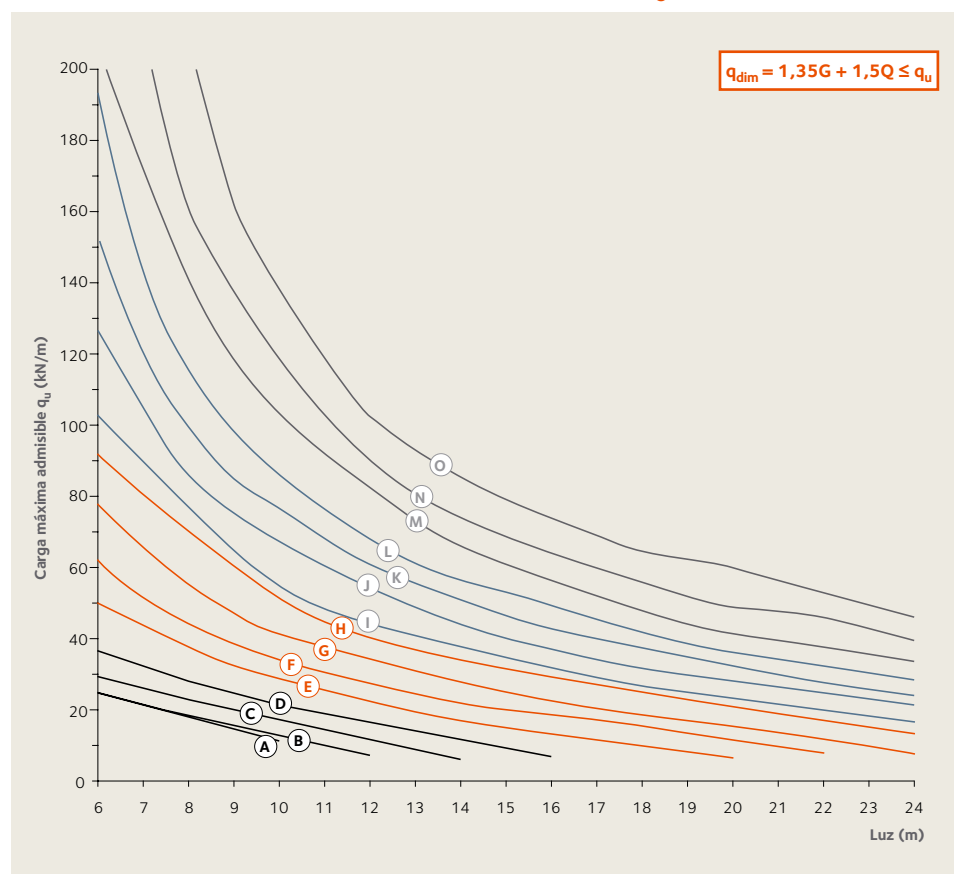
# Tabla de rendimientos para cubiertas y forjados metálicos

Ábaco 1: Sección de Acero – Perfil de base IPE.  $S = 1,25 a_0$  – Clase S355



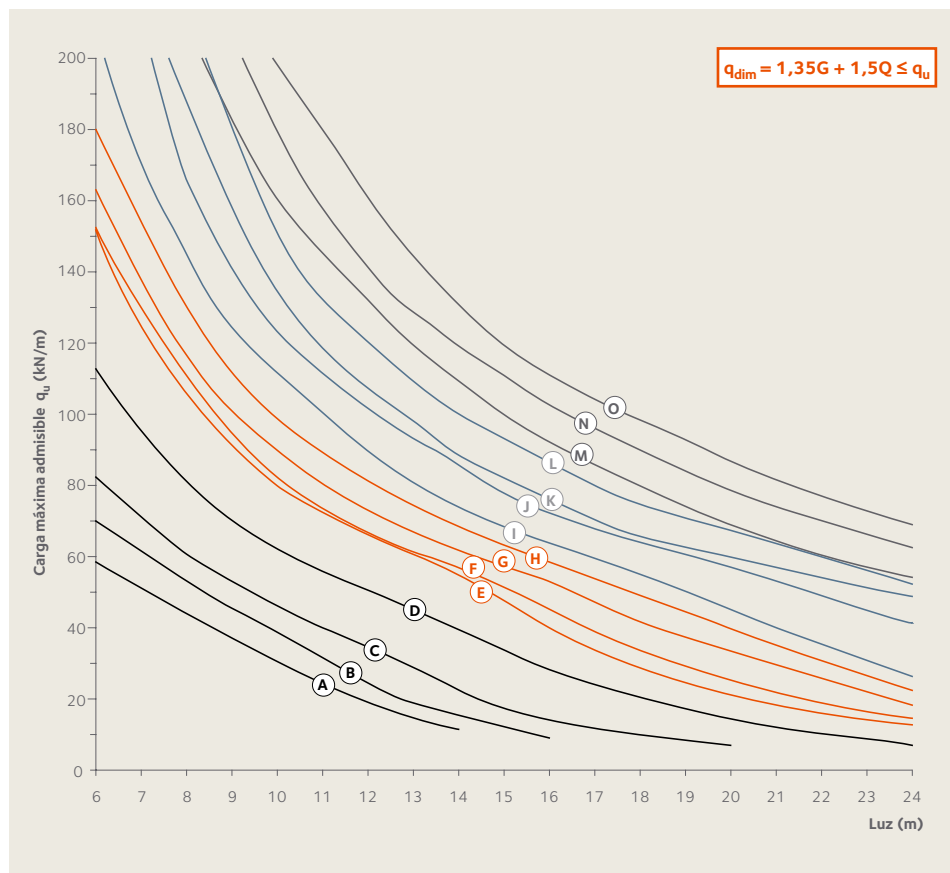
- A** = IPE 200 ( $a_0=210$ ,  $S=260$ ,  $H=294$ )
- B** = IPE 240 ( $a_0=250$ ,  $S=310$ ,  $H=353$ )
- C** = IPE 300 ( $a_0=315$ ,  $S=390$ ,  $H=445$ )
- D** = IPE 330 ( $a_0=345$ ,  $S=430$ ,  $H=489$ )
- E** = IPE 360 ( $a_0=380$ ,  $S=480$ ,  $H=535$ )
- F** = IPE 400 ( $a_0=420$ ,  $S=530$ ,  $H=594$ )
- G** = IPE 450 ( $a_0=475$ ,  $S=590$ ,  $H=672$ )
- H** = IPE 500 ( $a_0=525$ ,  $S=660$ ,  $H=745$ )
- I** = IPE 550 ( $a_0=580$ ,  $S=730$ ,  $H=822$ )
- J** = IPE 600 ( $a_0=630$ ,  $S=790$ ,  $H=896$ )
- K** = IPE 750X147 ( $a_0=790$ ,  $S=990$ ,  $H=1127$ )

Ábaco 2: Sección de Acero – Perfil de base HEA.  $S = 1,25 a_0$  – Clase S355



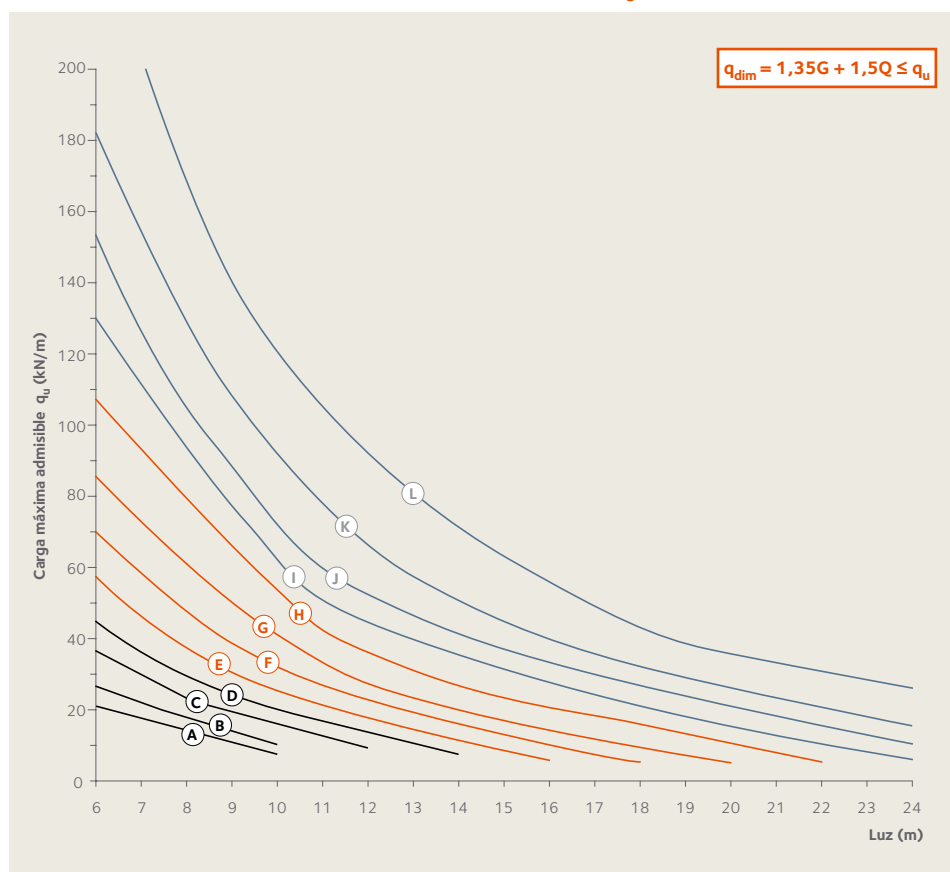
- A** = HEA 200 ( $a_0=180$ ,  $S=230$ ,  $H=268$ )
- B** = HEA 220 ( $a_0=220$ ,  $S=280$ ,  $H=307$ )
- C** = HEA 240 ( $a_0=240$ ,  $S=300$ ,  $H=338$ )
- D** = HEA 280 ( $a_0=285$ ,  $S=360$ ,  $H=399$ )
- E** = HEA 320 ( $a_0=325$ ,  $S=410$ ,  $H=459$ )
- F** = HEA 360 ( $a_0=370$ ,  $S=460$ ,  $H=521$ )
- G** = HEA 400 ( $a_0=410$ ,  $S=510$ ,  $H=581$ )
- H** = HEA 450 ( $a_0=460$ ,  $S=580$ ,  $H=654$ )
- I** = HEA 500 ( $a_0=515$ ,  $S=640$ ,  $H=732$ )
- J** = HEA 550 ( $a_0=565$ ,  $S=710$ ,  $H=805$ )
- K** = HEA 600 ( $a_0=620$ ,  $S=780$ ,  $H=881$ )
- L** = HEA 650 ( $a_0=670$ ,  $S=840$ ,  $H=956$ )
- M** = HEA 700 ( $a_0=725$ ,  $S=910$ ,  $H=1032$ )
- N** = HEA 800 ( $a_0=830$ ,  $S=1040$ ,  $H=1183$ )
- O** = HEA900 ( $a_0=935$ ,  $S=1170$ ,  $H=1334$ )

Ábaco 3: Sección de Acero – Perfil de base HEM.  $S = 1,25 a_0$  – Clase S355



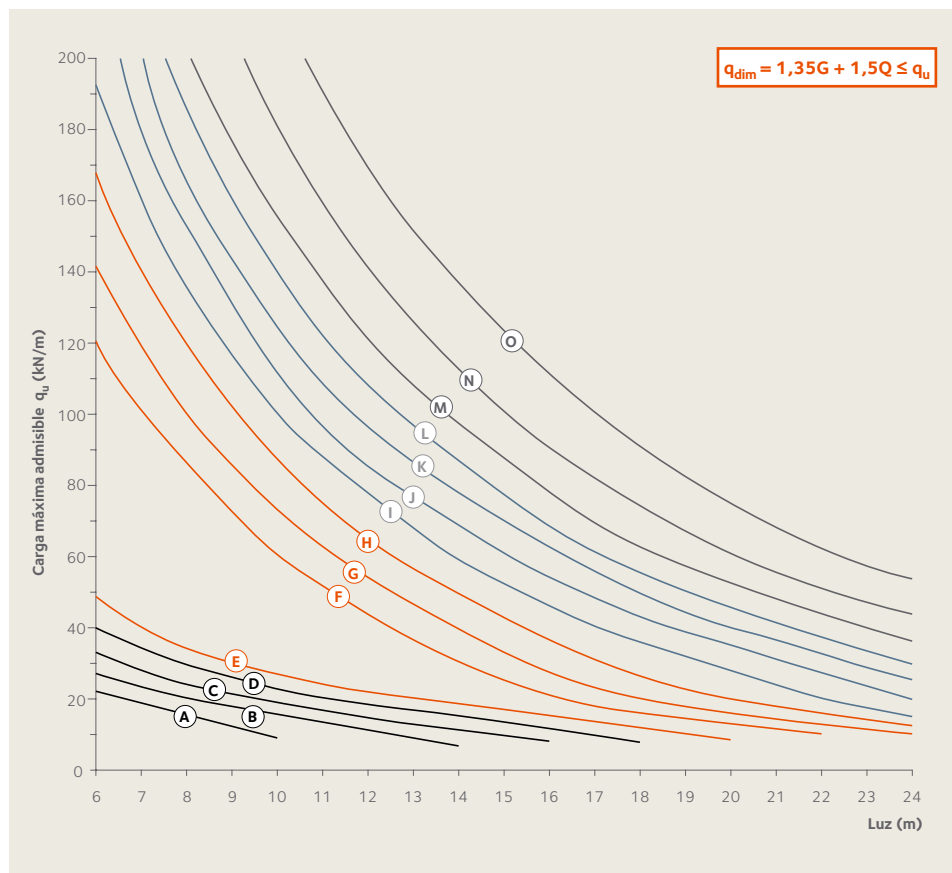
- A** = HEM 200 ( $a_0=190$ ,  $S=240$ ,  $H=303$ )
- B** = HEM 220 ( $a_0=220$ ,  $S=280$ ,  $H=337$ )
- C** = HEM 240 ( $a_0=250$ ,  $S=310$ ,  $H=383$ )
- D** = HEM 280 ( $a_0=320$ ,  $S=400$ ,  $H=457$ )
- E** = HEM 300 ( $a_0=340$ ,  $S=430$ ,  $H=496$ )
- F** = HEM 320 ( $a_0=375$ ,  $S=470$ ,  $H=532$ )
- G** = HEM 360 ( $a_0=415$ ,  $S=520$ ,  $H=587$ )
- H** = HEM 400 ( $a_0=455$ ,  $S=570$ ,  $H=644$ )
- I** = HEM 450 ( $a_0=500$ ,  $S=630$ ,  $H=711$ )
- J** = HEM 550 ( $a_0=600$ ,  $S=750$ ,  $H=854$ )
- K** = HEM 600 ( $a_0=650$ ,  $S=810$ ,  $H=927$ )
- L** = HEM 650 ( $a_0=700$ ,  $S=880$ ,  $H=998$ )
- M** = HEA 700 ( $a_0=750$ ,  $S=940$ ,  $H=1070$ )
- N** = HEA 800 ( $a_0=855$ ,  $S=1070$ ,  $H=1219$ )
- O** = HEA 900 ( $a_0=955$ ,  $S=1190$ ,  $H=1365$ )

Ábaco 4: Sección de Acero – Perfil de base IPE.  $S = 1,5 a_0$  – Clase S355



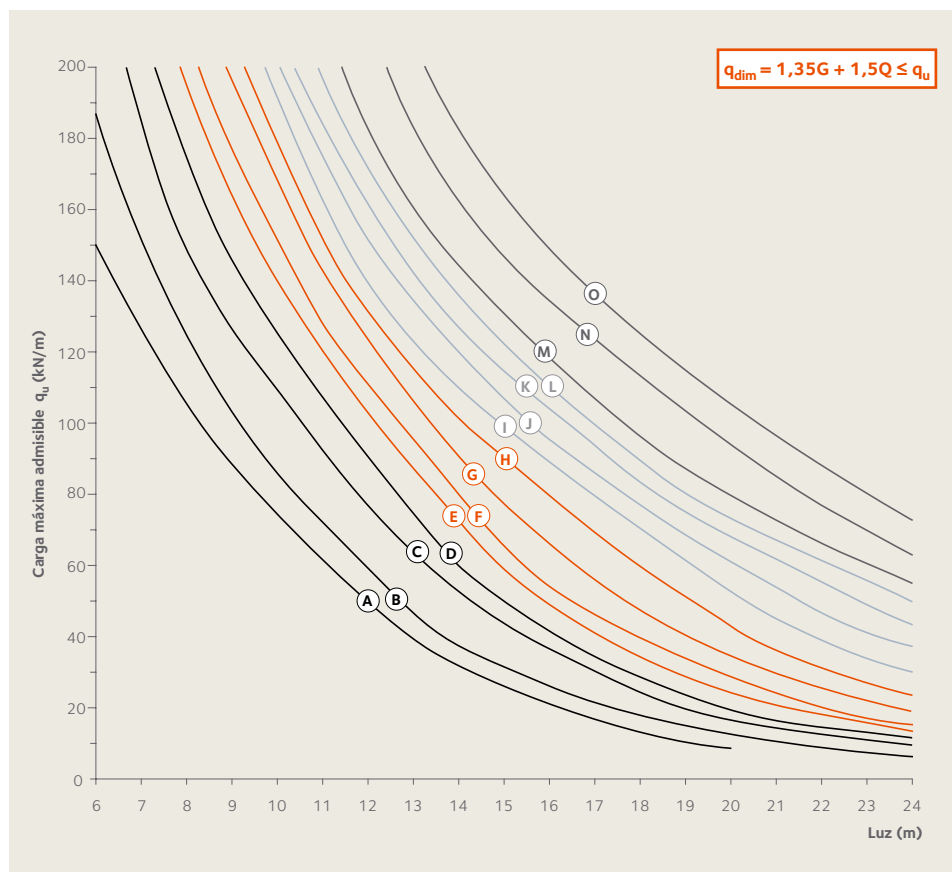
- A** = IPE 220 ( $a_0=225$ ,  $S=335$ ,  $H=309$ )
- B** = IPE 240 ( $a_0=250$ ,  $S=370$ ,  $H=340$ )
- C** = IPE 270 ( $a_0=285$ ,  $S=425$ ,  $H=385$ )
- D** = IPE 300 ( $a_0=315$ ,  $S=470$ ,  $H=428$ )
- E** = IPE 330 ( $a_0=345$ ,  $S=515$ ,  $H=469$ )
- F** = IPE 360 ( $a_0=380$ ,  $S=570$ ,  $H=515$ )
- G** = IPE 400 ( $a_0=420$ ,  $S=630$ ,  $H=573$ )
- H** = IPE 450 ( $a_0=475$ ,  $S=710$ ,  $H=647$ )
- I** = IPE 500 ( $a_0=525$ ,  $S=785$ ,  $H=719$ )
- J** = IPE 550 ( $a_0=580$ ,  $S=865$ ,  $H=793$ )
- K** = IPE 600 ( $a_0=630$ ,  $S=940$ ,  $H=865$ )
- L** = IPE 750X147 ( $a_0=790$ ,  $S=1170$ ,  $H=1090$ )

Ábaco 5: Sección de Acero – Perfil de base HEA.  $S = 1,5 a_0$  – Clase S355



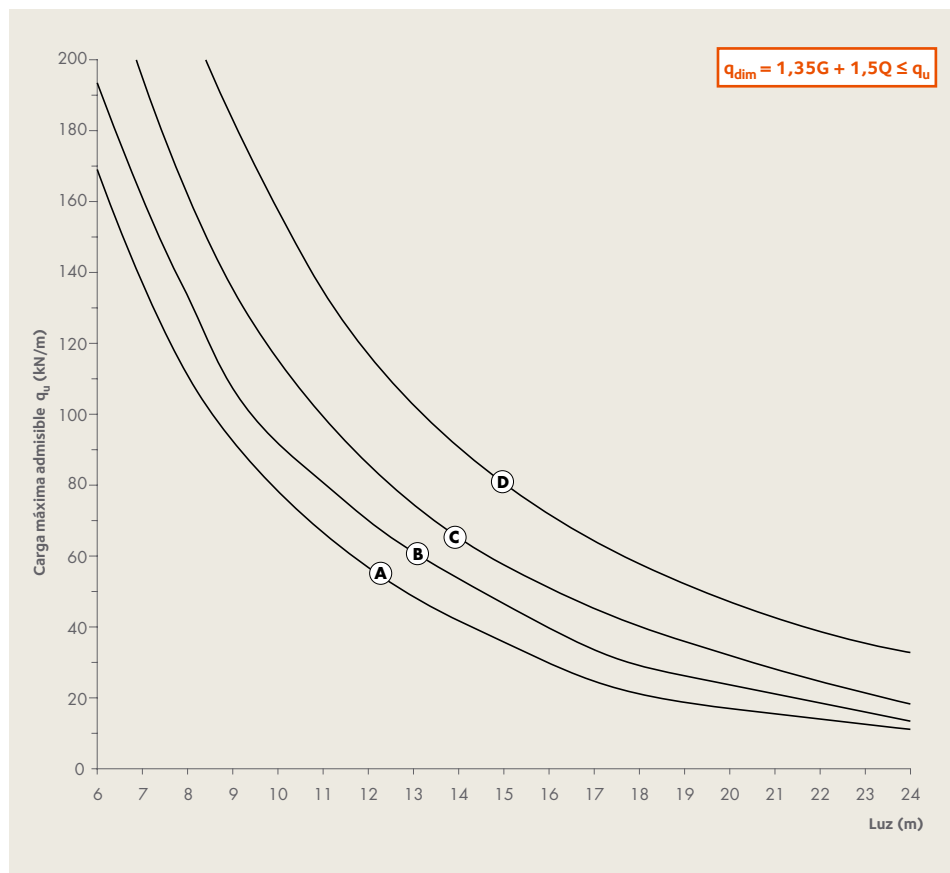
- A = HEA 200 ( $a_0=170$ ,  $S=250$ ,  $H=256$ )
- B = HEA 240 ( $a_0=230$ ,  $S=340$ ,  $H=322$ )
- C = HEA 280 ( $a_0=285$ ,  $S=425$ ,  $H=385$ )
- D = HEA 300 ( $a_0=305$ ,  $S=455$ ,  $H=414$ )
- E = HEA 340 ( $a_0=345$ ,  $S=515$ ,  $H=471$ )
- F = HEA 360 ( $a_0=370$ ,  $S=550$ ,  $H=502$ )
- G = HEA 400 ( $a_0=410$ ,  $S=610$ ,  $H=560$ )
- H = HEA 450 ( $a_0=460$ ,  $S=680$ ,  $H=633$ )
- I = HEA 500 ( $a_0=515$ ,  $S=765$ ,  $H=706$ )
- J = HEA 550 ( $a_0=565$ ,  $S=845$ ,  $H=776$ )
- K = HEA 600 ( $a_0=620$ ,  $S=925$ ,  $H=851$ )
- L = HEA 650 ( $a_0=670$ ,  $S=1000$ ,  $H=922$ )
- M = HEA 700 ( $a_0=725$ ,  $S=1085$ ,  $H=995$ )
- N = HEA 800 ( $a_0=830$ ,  $S=1240$ ,  $H=1142$ )
- O = HEA 900 ( $a_0=935$ ,  $S=1395$ ,  $H=1288$ )

Ábaco 6: Sección de Acero – Perfil de base HEM.  $S = 1,5 a_0$  – Clase S355



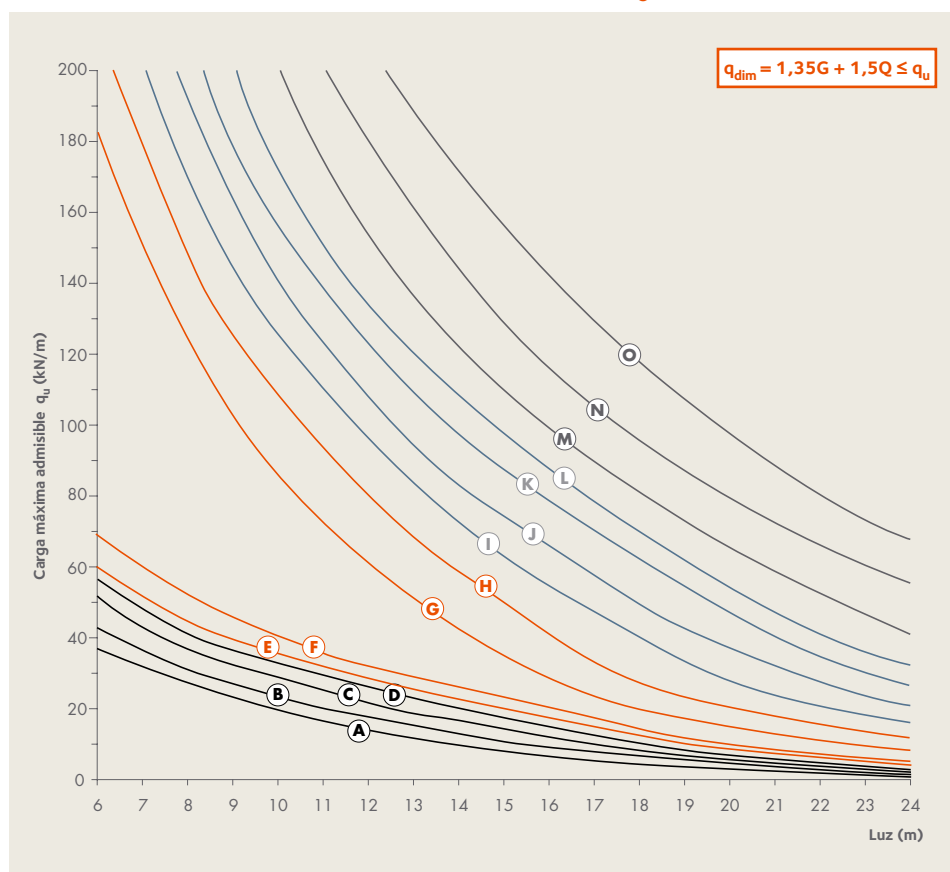
- A = HEM 260 ( $a_0=260$ ,  $S=385$ ,  $H=395$ )
- B = HEM 280 ( $a_0=280$ ,  $S=420$ ,  $H=422$ )
- C = HEM 300 ( $a_0=310$ ,  $S=460$ ,  $H=466$ )
- D = HEM 320 ( $a_0=340$ ,  $S=505$ ,  $H=498$ )
- E = HEM 340 ( $a_0=380$ ,  $S=560$ ,  $H=535$ )
- F = HEM 360 ( $a_0=410$ ,  $S=605$ ,  $H=566$ )
- G = HEM 400 ( $a_0=450$ ,  $S=670$ ,  $H=619$ )
- H = HEM 450 ( $a_0=500$ ,  $S=745$ ,  $H=687$ )
- I = HEM 500 ( $a_0=540$ ,  $S=810$ ,  $H=749$ )
- J = HEM 550 ( $a_0=600$ ,  $S=900$ ,  $H=823$ )
- K = HEM 600 ( $a_0=650$ ,  $S=970$ ,  $H=894$ )
- L = HEM 650 ( $a_0=700$ ,  $S=1050$ ,  $H=962$ )
- M = HEM 700 ( $a_0=750$ ,  $S=1125$ ,  $H=1031$ )
- N = HEM 800 ( $a_0=855$ ,  $S=1280$ ,  $H=1176$ )
- O = HEM 900 ( $a_0=955$ ,  $S=1430$ ,  $H=1315$ )

### Ábaco 7: Sección de Acero - Perfil de base IPE. $S = 1,5 a_0$ - Clase S460



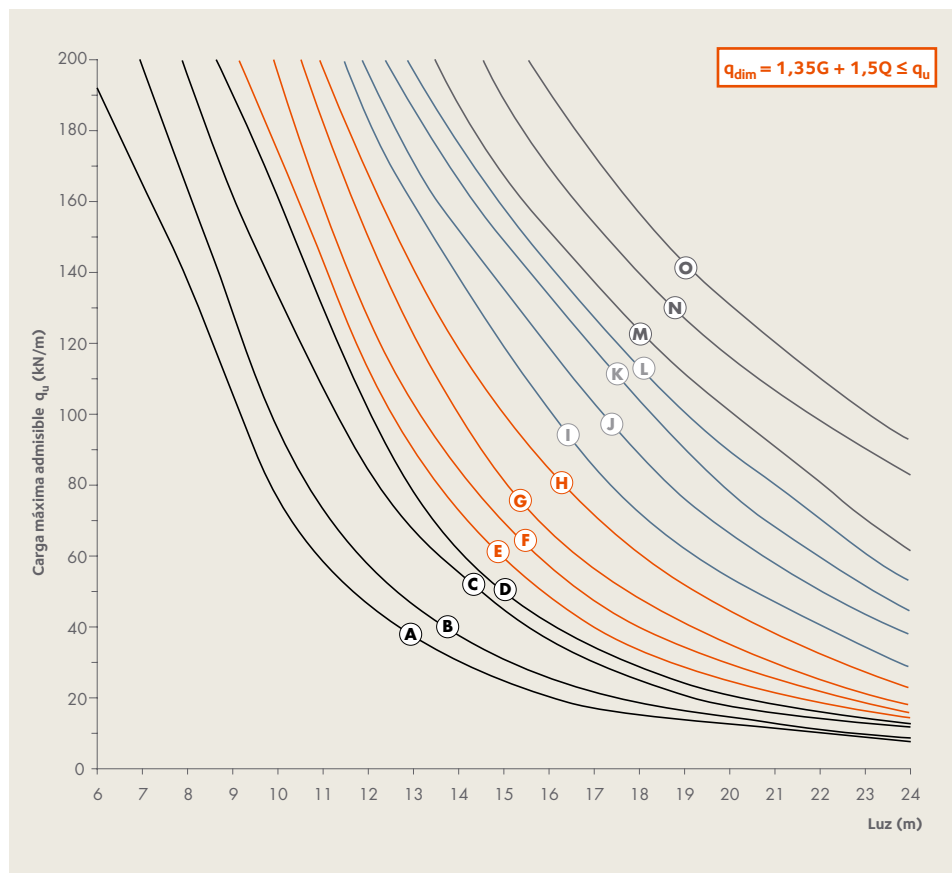
- A** = IPE 500 ( $a_0=525$ ,  $S=785$ ,  $H=719$ )  
**B** = IPE 550 ( $a_0=580$ ,  $S=865$ ,  $H=793$ )  
**C** = IPE 600 ( $a_0=630$ ,  $S=940$ ,  $H=865$ )  
**D** = IPE 750X147 ( $a_0=790$ ,  $S=1170$ ,  $H=1090$ )

### Ábaco 8: Sección de Acero - Perfil de base HEA. $S = 1,5 a_0$ - Clase S460



- A** = HEA 260 ( $a_0=265$ ,  $S=385$ ,  $H=359$ )  
**B** = HEA 280 ( $a_0=285$ ,  $S=425$ ,  $H=385$ )  
**C** = HEA 300 ( $a_0=305$ ,  $S=455$ ,  $H=414$ )  
**D** = HEA 320 ( $a_0=325$ ,  $S=485$ ,  $H=442$ )  
**E** = HEA 340 ( $a_0=345$ ,  $S=515$ ,  $H=471$ )  
**F** = HEA 360 ( $a_0=370$ ,  $S=550$ ,  $H=502$ )  
**G** = HEA 400 ( $a_0=410$ ,  $S=610$ ,  $H=560$ )  
**H** = HEA 450 ( $a_0=460$ ,  $S=680$ ,  $H=633$ )  
**I** = HEA 500 ( $a_0=515$ ,  $S=765$ ,  $H=706$ )  
**J** = HEA 550 ( $a_0=565$ ,  $S=845$ ,  $H=776$ )  
**K** = HEA 600 ( $a_0=620$ ,  $S=925$ ,  $H=851$ )  
**L** = HEA 650 ( $a_0=670$ ,  $S=1000$ ,  $H=922$ )  
**M** = HEA 700 ( $a_0=725$ ,  $S=1085$ ,  $H=995$ )  
**N** = HEA 800 ( $a_0=830$ ,  $S=1240$ ,  $H=1142$ )  
**O** = HEA 900 ( $a_0=935$ ,  $S=1395$ ,  $H=1288$ )

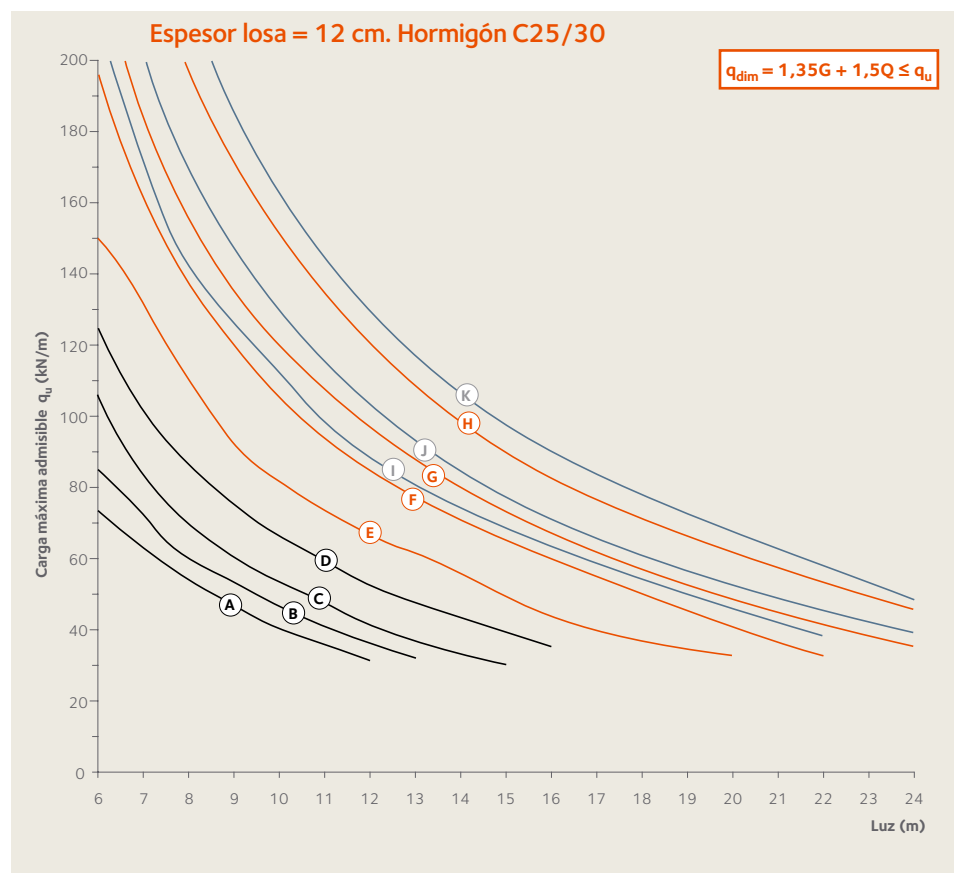
### Ábaco 9: Sección de Acero - Perfil de base HEM. $S = 1,5 a_0$ - Clase S460



- A** = HEM 260 ( $a_0=260$ ,  $S=385$ ,  $H=395$ )
- B** = HEM 280 ( $a_0=280$ ,  $S=420$ ,  $H=422$ )
- C** = HEM 300 ( $a_0=310$ ,  $S=460$ ,  $H=466$ )
- D** = HEM 320 ( $a_0=340$ ,  $S=505$ ,  $H=498$ )
- E** = HEM 340 ( $a_0=380$ ,  $S=560$ ,  $H=535$ )
- F** = HEM 360 ( $a_0=410$ ,  $S=605$ ,  $H=566$ )
- G** = HEM 400 ( $a_0=450$ ,  $S=670$ ,  $H=619$ )
- H** = HEM 450 ( $a_0=500$ ,  $S=745$ ,  $H=687$ )
- I** = HEM 500 ( $a_0=540$ ,  $S=810$ ,  $H=749$ )
- J** = HEM 550 ( $a_0=600$ ,  $S=900$ ,  $H=823$ )
- K** = HEM 600 ( $a_0=650$ ,  $S=970$ ,  $H=894$ )
- L** = HEM 650 ( $a_0=700$ ,  $S=1050$ ,  $H=962$ )
- M** = HEM 700 ( $a_0=750$ ,  $S=1125$ ,  $H=1031$ )
- N** = HEM 800 ( $a_0=855$ ,  $S=1280$ ,  $H=1176$ )
- O** = HEM 900 ( $a_0=955$ ,  $S=1430$ ,  $H=1315$ )

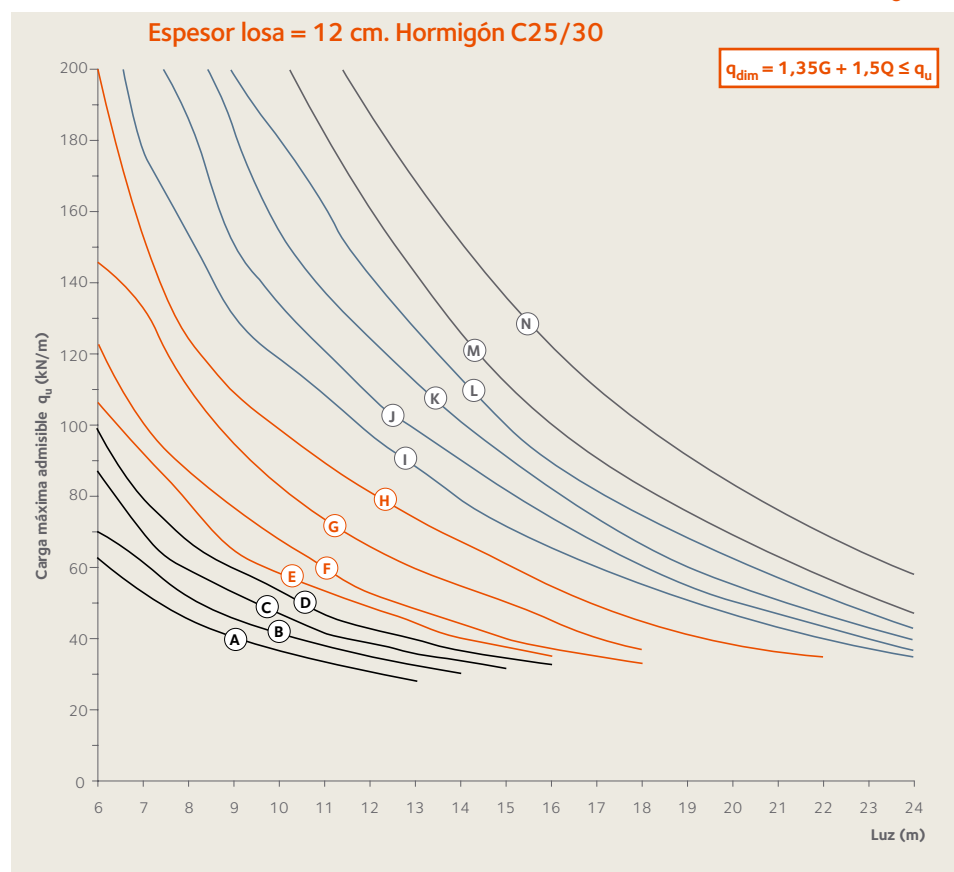
# Tabla de rendimientos para forjados mixtos

Ábaco 10: Sección mixta Acero-Hormigón – Perfil de base IPE & HEA-B.  $S = 1,5 a_0$  – Clase S355.



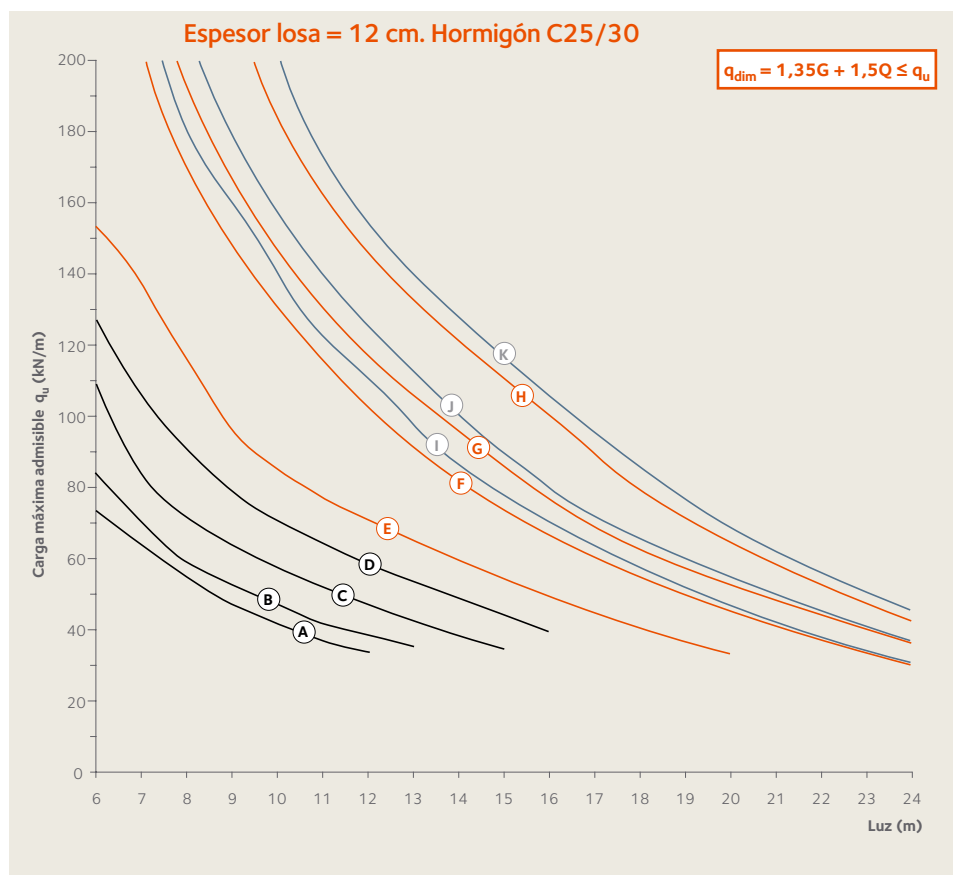
- A = IPE 300-HEA 280 ( $a_0=260$ ,  $S=390$ ,  $H=388$ )
- B = IPE 330-HEA 300 ( $a_0=280$ ,  $S=420$ ,  $H=422$ )
- C = IPE 360-HEA 340 ( $a_0=310$ ,  $S=465$ ,  $H=470$ )
- D = IPE 400-HEA 400 ( $a_0=350$ ,  $S=525$ ,  $H=537$ )
- E = IPE 450-HEA 450 ( $a_0=400$ ,  $S=600$ ,  $H=609$ )
- F = IPE 500-HEA 550 ( $a_0=480$ ,  $S=720$ ,  $H=719$ )
- G = IPE 550-HEA 650 ( $a_0=560$ ,  $S=840$ ,  $H=828$ )
- H = IPE 600-HEA 800 ( $a_0=640$ ,  $S=960$ ,  $H=963$ )
- I = IPE 500-HEB 550 ( $a_0=480$ ,  $S=720$ ,  $H=724$ )
- J = IPE 550-HEB 650 ( $a_0=560$ ,  $S=840$ ,  $H=833$ )
- K = IPE 600-HEB 800 ( $a_0=640$ ,  $S=960$ ,  $H=968$ )

Ábaco 11: Sección mixta Acero-Hormigón – Perfil de base HEA & HEB.  $S = 1,5 a_0$  – Clase S355.



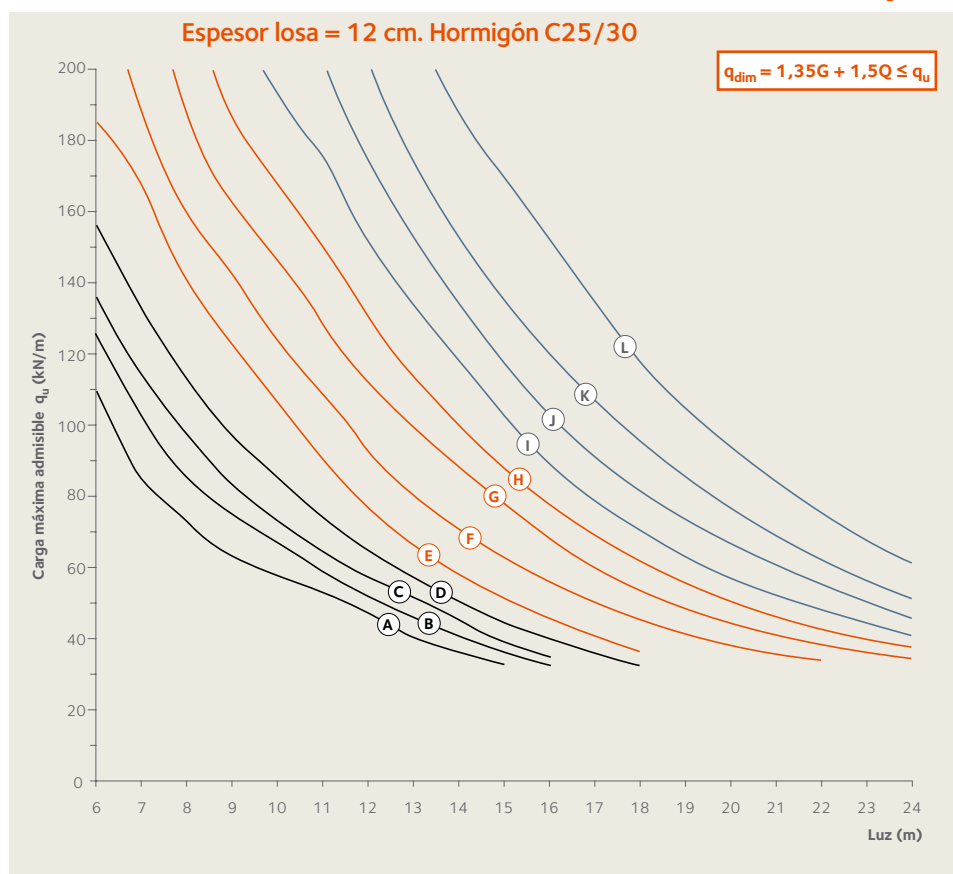
- A = HEA 260-HEB 260 ( $a_0=230$ ,  $S=345$ ,  $H=345$ )
- B = HEA 280-HEB 280 ( $a_0=250$ ,  $S=375$ ,  $H=374$ )
- C = HEA 300-HEB 300 ( $a_0=270$ ,  $S=405$ ,  $H=403$ )
- D = HEA 320-HEB 320 ( $a_0=290$ ,  $S=435$ ,  $H=431$ )
- E = HEA 340-HEB 340 ( $a_0=300$ ,  $S=450$ ,  $H=456$ )
- F = HEA 360-HEB 360 ( $a_0=320$ ,  $S=480$ ,  $H=484$ )
- G = HEA 400-HEB 400 ( $a_0=360$ ,  $S=540$ ,  $H=542$ )
- H = HEA 450-HEB 450 ( $a_0=410$ ,  $S=615$ ,  $H=613$ )
- I = HEA 500-HEB 500 ( $a_0=460$ ,  $S=690$ ,  $H=685$ )
- J = HEA 550-HEB 550 ( $a_0=500$ ,  $S=750$ ,  $H=752$ )
- K = HEA 600-HEB 600 ( $a_0=550$ ,  $S=825$ ,  $H=824$ )
- L = HEA 650-HEB 650 ( $a_0=600$ ,  $S=900$ ,  $H=896$ )
- M = HEA 700-HEB 700 ( $a_0=650$ ,  $S=975$ ,  $H=967$ )
- N = HEA 800-HEB 800 ( $a_0=740$ ,  $S=1110$ ,  $H=1106$ )

Ábaco 12: Sección mixta Acero-Hormigón – Perfil de base IPE & HEA-B.  $S = 1,5 a_0$  - Clase S460.



- A** = IPE 300-HEA 280 ( $a_0=260$ ,  $S=390$ ,  $H=388$ )
- B** = IPE 330-HEA 300 ( $a_0=280$ ,  $S=420$ ,  $H=422$ )
- C** = IPE 360-HEA 340 ( $a_0=310$ ,  $S=465$ ,  $H=470$ )
- D** = IPE 400-HEA 400 ( $a_0=350$ ,  $S=525$ ,  $H=537$ )
- E** = IPE 450-HEA 450 ( $a_0=400$ ,  $S=600$ ,  $H=609$ )
- F** = IPE 500-HEA 550 ( $a_0=480$ ,  $S=720$ ,  $H=719$ )
- G** = IPE 550-HEA 650 ( $a_0=560$ ,  $S=840$ ,  $H=828$ )
- H** = IPE 600-HEA 800 ( $a_0=640$ ,  $S=960$ ,  $H=963$ )
- I** = IPE 500-HEB 550 ( $a_0=480$ ,  $S=720$ ,  $H=724$ )
- J** = IPE 550-HEB 650 ( $a_0=560$ ,  $S=840$ ,  $H=833$ )
- K** = IPE 600-HEB 800 ( $a_0=640$ ,  $S=960$ ,  $H=968$ )

Ábaco 13: Sección mixta Acero-Hormigón – Perfil de base HEA & HEB.  $S = 1,5 a_0$  - Clase S460.



- A** = HEA 300-HEB 300 ( $a_0=270$ ,  $S=405$ ,  $H=403$ )
- B** = HEA 320-HEB 320 ( $a_0=290$ ,  $S=435$ ,  $H=431$ )
- C** = HEA 340-HEB 340 ( $a_0=300$ ,  $S=450$ ,  $H=456$ )
- D** = HEA 360-HEB 360 ( $a_0=320$ ,  $S=480$ ,  $H=484$ )
- E** = HEA 400-HEB 400 ( $a_0=360$ ,  $S=540$ ,  $H=542$ )
- F** = HEA 450-HEB 450 ( $a_0=410$ ,  $S=615$ ,  $H=613$ )
- G** = HEA 500-HEB 500 ( $a_0=460$ ,  $S=690$ ,  $H=685$ )
- H** = HEA 550-HEB 550 ( $a_0=500$ ,  $S=750$ ,  $H=752$ )
- I** = HEA 600-HEB 600 ( $a_0=550$ ,  $S=825$ ,  $H=824$ )
- J** = HEA 650-HEB 650 ( $a_0=600$ ,  $S=900$ ,  $H=896$ )
- K** = HEA 700-HEB 700 ( $a_0=650$ ,  $S=975$ ,  $H=967$ )
- L** = HEA 800-HEB 800 ( $a_0=740$ ,  $S=1110$ ,  $H=1106$ )

# 10. Ábacos de predimensionamiento: ejemplos de aplicación

Dimensionamiento de viga alveolares ACB® para un forjado mixto con una luz  $L = 16\text{ m}$  y una distancia entre vigas  $B = 3\text{ m}$ . Por razones arquitectónicas, la altura final total del forjado (incluyendo la viga) está limitada a  $H_t = 700\text{ mm}$ . Para una losa de  $120\text{ mm}$  de espesor esto permite una altura máxima del perfil ACB® de  $H = 580\text{ mm}$ .

## Parámetros a considerar:

$L = 16\text{ m}$

$B = 3\text{ m}$

Espesor de la losa igual a  $12\text{ cm}$ .

Calidad del hormigón C25/30

Forjado de chapa colaborante de  $60\text{ mm}$  de altura de nervadura.

## Cargas a considerar:

$q_{\text{dim}} = (1,35G + 1,5Q)B$ , siendo

$G = G_1 + G_2$

$G_1$  = Peso de la losa y peso de la viga ACB®.

Para una losa de  $12\text{ cm}$  de espesor sobre chapa colaborante,

$g_{\text{losa}} \approx 2\text{ kN/m}^2$

El peso de la viga ACB® se puede suponer inicialmente de un valor de  $1\text{ kN/m}$  equivalente a :

$g_{\text{ACB}} = 0,33\text{ kN/m}^2$ .

$G_2$  = Carga permanente adicional =  $0,75\text{ kN/m}^2$

$Q$  = Sobrecarga de uso,

valor elegido para este ejemplo:  $6\text{ kN/m}^2$

$G = g_{\text{losa}} + g_{\text{ACB}} = 2,33\text{ kN/m}^2$

$G_2 = 0,75\text{ kN/m}^2$

$Q = 6\text{ kN/m}^2$

$q_{\text{dim}} = 39,5\text{ kN/m}$

Utilizando los ábacos de predimensionamiento en función de la carga y longitud, se puede calcular el perfil necesario. En los casos en que se imponga un canto máximo, la primera elección de ábaco está en la gama HEA & HEB con las dos clases de acero S355 y S460.



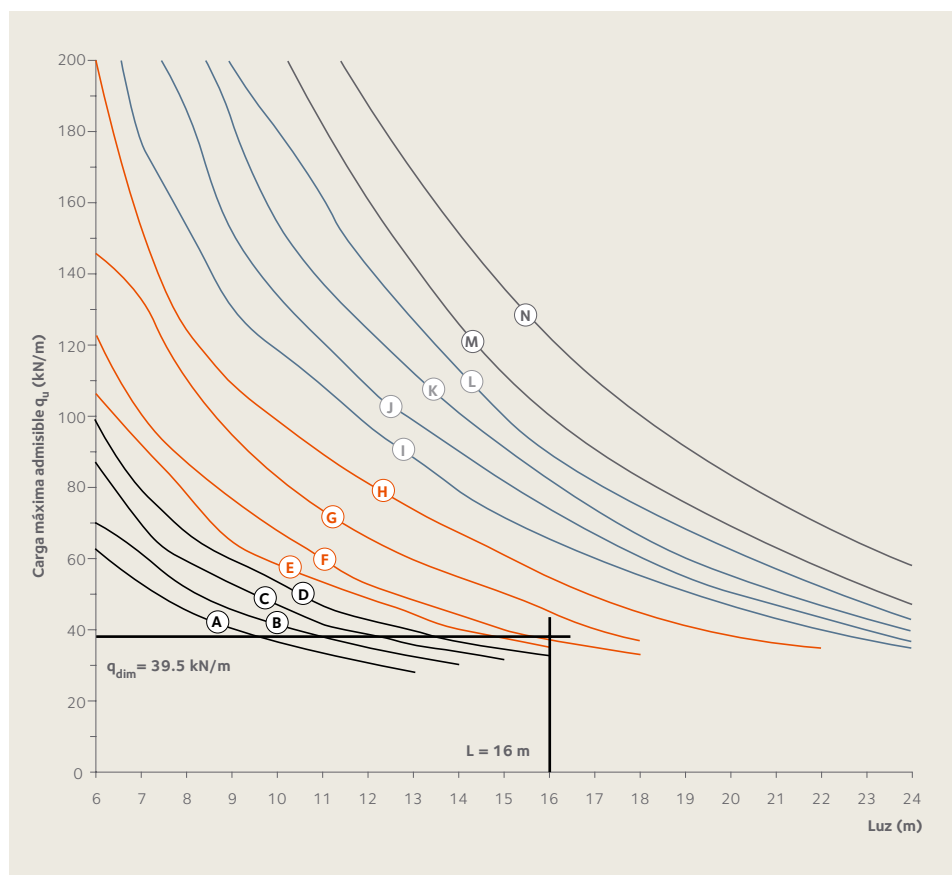
## Ver página siguiente: ejemplo 1.

La elección se lleva a cabo sobre la curva G a base de un perfil HEA400/HEB400 con  $a_0 = 360\text{ mm}$  y  $H = 542\text{ mm}$  con calidad S355. Haciendo la misma operación con la clase de acero S460, se observa que el perfil necesario es idéntico. Esto se debe al hecho de que el criterio de dimensionamiento para este caso es la flecha y a que la inercia no cambia al utilizar un acero de calidad más elevada. Si la limitación del canto final no es realmente estricta, se puede dimensionar utilizando el ábaco con la configuración IPE & HEA-B.

## Ver página siguiente: ejemplo 2.

El perfil necesario es un IPE 450/HEA 450 (curva E) con  $a_0 = 400\text{ mm}$  y  $H = 609\text{ mm}$ . Esta solución es más ligera que la anterior. Una vez determinado el perfil se recomienda introducir los valores en el programa de dimensionamiento ACB con el fin de afinar los resultados y de llevar a cabo las diversas comprobaciones en ELS y ELU.

### Ejemplo 1.



Sección mixta Acero-Hormigón

Perfil de base:

HEA & HEA-B

$S = 1,5 a_0$  - Clase S355

**Espesor losa = 12 cm**

**Hormigón C25/30**

**A** = HEA 260-HEB 260 ( $a_0=230$ ,  $S=345$ ,  $H=345$ )

**B** = HEA 280-HEB 280 ( $a_0=250$ ,  $S=375$ ,  $H=374$ )

**C** = HEA 300-HEB 300 ( $a_0=270$ ,  $S=405$ ,  $H=403$ )

**D** = HEA 320-HEB 320 ( $a_0=290$ ,  $S=435$ ,  $H=431$ )

**E** = HEA 340-HEB 340 ( $a_0=300$ ,  $S=450$ ,  $H=456$ )

**F** = HEA 360-HEB 360 ( $a_0=320$ ,  $S=480$ ,  $H=484$ )

**G** = HEA 400-HEB 400 ( $a_0=360$ ,  $S=540$ ,  $H=542$ )

**H** = HEA 450-HEB 450 ( $a_0=410$ ,  $S=615$ ,  $H=613$ )

**I** = HEA 500-HEB 500 ( $a_0=460$ ,  $S=690$ ,  $H=685$ )

**J** = HEA 550-HEB 550 ( $a_0=500$ ,  $S=750$ ,  $H=752$ )

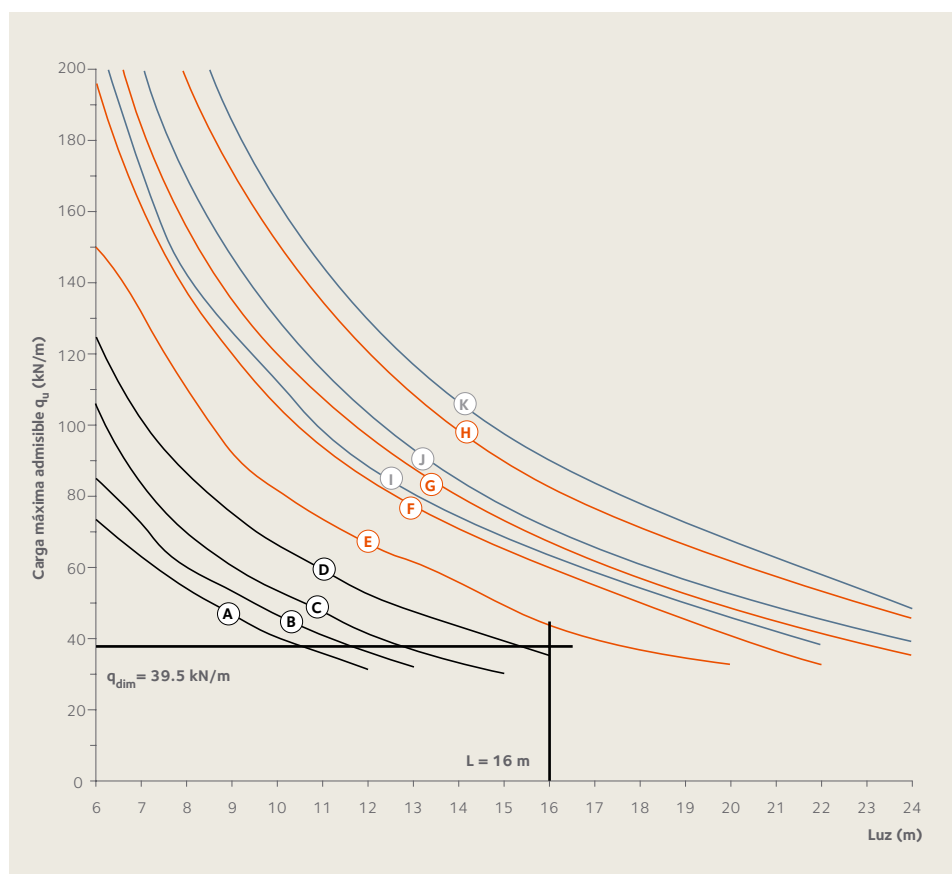
**K** = HEA 600-HEB 600 ( $a_0=550$ ,  $S=825$ ,  $H=824$ )

**L** = HEA 650-HEB 650 ( $a_0=600$ ,  $S=900$ ,  $H=896$ )

**M** = HEA 700-HEB 700 ( $a_0=650$ ,  $S=975$ ,  $H=967$ )

**N** = HEA 800-HEB 800 ( $a_0=740$ ,  $S=1110$ ,  $H=1106$ )

### Ejemplo 2.



Sección mixta Acero-Hormigón

Perfil de base:

IPE & HEA-B

$S = 1,5 a_0$  - Clase S355

**Espesor losa = 12 cm**

**Hormigón C25/30**

**A** = IPE 300-HEA 280 ( $a_0=260$ ,  $S=390$ ,  $H=388$ )

**B** = IPE 330-HEA 300 ( $a_0=280$ ,  $S=420$ ,  $H=422$ )

**C** = IPE 360-HEA 340 ( $a_0=310$ ,  $S=465$ ,  $H=470$ )

**D** = IPE 400-HEA 400 ( $a_0=350$ ,  $S=525$ ,  $H=537$ )

**E** = IPE 450-HEA 450 ( $a_0=400$ ,  $S=600$ ,  $H=609$ )

**F** = IPE 500-HEA 550 ( $a_0=480$ ,  $S=720$ ,  $H=719$ )

**G** = IPE 550-HEA 650 ( $a_0=560$ ,  $S=840$ ,  $H=828$ )

**H** = IPE 600-HEA 800 ( $a_0=640$ ,  $S=960$ ,  $H=963$ )

**I** = IPE 500-HEB 550 ( $a_0=480$ ,  $S=720$ ,  $H=724$ )

**J** = IPE 550-HEB 650 ( $a_0=560$ ,  $S=840$ ,  $H=833$ )

**K** = IPE 600-HEB 800 ( $a_0=640$ ,  $S=960$ ,  $H=968$ )



# Asistencia técnica y Acabado

## Asistencia técnica

Nos complace ofrecerle asesoramiento técnico gratuito para optimizar el uso de nuestros productos y soluciones en sus proyectos y responder a todas sus preguntas sobre el uso de perfiles y barras comerciales. Este asesoramiento técnico abarca el diseño de elementos estructurales, los detalles de construcción, la protección de las superficies, la protección contra incendios, la metalurgia y la soldadura.

Nuestros especialistas están a su disposición para apoyar su iniciativas en cualquier parte del mundo.

Para facilitar el diseño de sus proyectos, ofrecemos igualmente software y documentación técnica que puede consultar o bajar desde nuestra página web

[www.arcelormittal.com/sections](http://www.arcelormittal.com/sections)

## Acabado

Para completar las posibilidades técnicas de nuestros interlocutores, nos hemos dotado de potentes herramientas de acabado y ofrecemos una amplia gama de servicios, tales como:

- Taladrado
- Oxicorte
- Recorte en T
- Entallado
- Contraflechado
- Curvado
- Enderezado
- Aserrado en frío a la longitud exacta
- Soldadura de conectores
- Granallado
- Tratamiento de superficie

## Building & Construction Support

En ArcelorMittal contamos también con un equipo de profesionales multiproducto especializado en el mercado de la construcción: la división Building & Construction Support (BCS).

Una gama completa de productos y soluciones dedicados a la construcción en todas sus formas: estructuras, fachadas, cubiertas, etc. está disponible en nuestra página web

[www.constructalia.com](http://www.constructalia.com)

## Sus socios

ArcelorMittal  
Comercial Perfiles  
Ctra. Toledo, Km. 9,200  
E-28021 Madrid  
Tel: +34 917 972 30 0  
Fax: +34 915 050 25 7

**[www.arcelormittal.com/sections](http://www.arcelormittal.com/sections)**

ITEA - Instituto Técnico de la  
Estructura en Acero  
Parque Tecnológico de Donostia - San Sebastián  
Paseo de Mikeletegi, 56. Oficinas 108 - 109  
E- 20009 Donostia - San Sebastián  
Tel: +34 943 887 47 6  
Fax: +34 943 887 62 2

**[www.arcelormittal.com/itea](http://www.arcelormittal.com/itea)**

Building & Construction Support  
C/ Albacete 3 - 3º Planta  
E-28027 Madrid  
Tel: +34 91 596 9394  
Fax: + 34 91 596 9585

**[www.constructalia.com](http://www.constructalia.com)**

APTA - Asociación para la  
Promoción Técnica del Acero  
Pº de la Castellana, 135 - 3ºB  
E-28046 Madrid  
Tel: +34 915 670 91 0  
Fax: +34 915 670 91 1

**[www.apta.org.es](http://www.apta.org.es)**

ArcelorMittal  
Comercial Perfiles

Ctra. Toledo, Km. 9,200  
E-28021 Madrid  
ESPANA  
Tel: +34 917 972 30 0  
Fax: +34 915 050 25 7

[www.arcelormittal.com/sections](http://www.arcelormittal.com/sections)

Version 2008-1



**Fuentes Mixtas**

Grupo de producto de bosques bien  
gestionados y otras fuentes controladas.  
[www.fsc.org](http://www.fsc.org) Cert no. EUR-COC-051203  
© 1996 Forest Stewardship Council