



## FORJADOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Versión 3 – septiembre 2022

Adaptada al nuevo Código Estructural

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>2. ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PARA FORJADOS</b> .....	<b>5</b>
2.1. <i>Sistemas de forjado de vigueta y bovedilla</i> .....	5
2.2. <i>Casetones para forjados reticulares</i> .....	11
2.3. <i>Sistemas de forjado con prelosas</i> .....	13
2.4. <i>Placas alveolares</i> .....	16
2.5. <i>Losas macizas</i> .....	24
2.6. <i>Elementos nervados para forjados</i> .....	24
2.7. <i>Otros elementos prefabricados de hormigón para forjados</i> .....	27
<b>3. DISEÑO DEL FORJADO DE PLACAS ALVEOLARES</b> .....	<b>28</b>
3.1. <i>Elección del sistema de forjado</i> .....	28
3.2. <i>Funciones</i> .....	31
3.3. <i>Modulación del forjado</i> .....	36
3.4. <i>Predimensionamiento</i> .....	39
3.5. <i>Las fichas de características técnicas</i> .....	43
3.6. <i>Cálculo estructural</i> .....	53
3.7. <i>Durabilidad</i> .....	66
3.8. <i>Resistencia al fuego</i> .....	66
3.9. <i>Características térmicas y acústicas</i> .....	68
3.10. <i>Reglamentación técnica</i> .....	69
<b>4. MONTAJE</b> .....	<b>72</b>
4.1. <i>Forjados altamente industrializados: placas alveolares</i> .....	72
4.2. <i>Forjados poco industrializados: sistemas de vigueta y bovedilla</i> .....	77
<b>5. SOSTENIBILIDAD</b> .....	<b>79</b>
5.1. <i>Generalidades</i> .....	79
5.2. <i>Declaración ambiental de producto (DAP) de forjados prefabricados de hormigón</i> .....	79
5.3. <i>Otras ventajas sostenibles de los forjados prefabricados de hormigón</i> .....	82
<b>6. METODOLOGÍA BIM</b> .....	<b>83</b>
6.1. <i>Conceptos básicos</i> .....	83
6.2. <i>Estrategia BIM de las empresas de prefabricados</i> .....	84
6.3. <i>Plataformas de objetos BIM</i> .....	85
6.4. <i>Entrada del prefabricador al proyecto</i> .....	88
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>89</b>
<b>EMPRESAS ASOCIADAS</b> .....	<b>89</b>
<b>SOCIOS ADHERIDOS</b> .....	<b>89</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Los elementos prefabricados de hormigón para forjados y cubiertas, especialmente en edificación, representan uno de los grupos de productos más conocidos y de uso más extendido dentro de la prefabricación, siendo además uno de los sistemas constructivos más controlados y regulados.

Siendo el forjado la estructura superficial horizontal que constituye la base resistente de pisos y algunos faldones de cubiertas, podemos clasificar los elementos prefabricados de hormigón para forjados según su disposición estructural:

- Forjados unidireccionales (trasmisión de las cargas a los apoyos en una única dirección):
  - Sistemas de vigueta (armada o pretensada) y bovedilla;
  - Prelosas armadas o pretensadas;
  - Elementos nervados;
  - Placas/losas alveolares.
- Forjados bidireccionales (trasmisión de las cargas en dos direcciones ortogonales):
  - Casetones para la formación de forjados reticulares;
  - Prelosas bidireccionales;
  - Losas macizas.

A esta clasificación también podríamos añadir piezas especiales que no entrarían en ninguna de las categorías anteriores, y que generalmente son objeto de desarrollo de patentes.

Casi siempre son el resultado de complementar la resistencia de un elemento prefabricado de hormigón, con otro hormigón vertido in situ sobre él. Se obtiene así un conjunto parcialmente prefabricado, o semiprefabricado, cuyo análisis es más complejo que el de las piezas constituidas por un solo hormigón.

Por tanto, se puede hacer una diferenciación en cuanto al grado de prefabricación e industrialización en el forjado, que irá en función de la contribución de los elementos prefabricados con respecto a la resistencia final del forjado:

Tipo de forjado		Luz máxima (m)	Canto total (mm)	Grado de industrialización
Forjados reticulares con casetones de hormigón		≤ 10	300-400	mayor ↓
Vigueta y bovedilla	Vigueta armada o pretensada	≤ 7	200-300	
Prelosas	Armadas	≤ 7	100-200	
	Pretensadas	≤ 8	150-300	
Nervados		≤ 30	200-500	
		≤ 30	600-1.200	
		≤ 10	150-300	
		≤ 20	200-700	
Núcleo hueco	Placas alveolares	20	≤500 **	

Fuente.- "Planning and Design Handbook on Precast Building Structures". FIP 1994

\* Son valores muy orientativos.

\*\* Se han llegado a prefabricar placas de hasta 1 m de canto, aunque el rango habitual no supera el medio metro.

## 2. ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PARA FORJADOS

### 2.1. Sistemas de forjado de vigueta y bovedilla

#### 2.1.1. Descripción

Probablemente representa el sistema que incorpora elementos prefabricados de hormigón con una trayectoria más dilatada, de uso especialmente en edificación residencial donde no es necesario salvar grandes luces (máximo 6-7 m).

El sistema consiste en un tipo de forjado unidireccional y semiprefabricado, compuesto de los siguientes elementos:

- a) Viguetas prefabricadas de hormigón armadas o pretensadas;
- b) Piezas de entrevigado (bovedillas). Suelen ser de hormigón, cerámicas o de poliestireno expandido;
- c) Armaduras de obra: longitudinales, transversales y de reparto, colocadas previamente al hormigonado;
- d) Hormigón vertido en obra para relleno de nervios y formación de la losa superior, que suele tener un canto efectivo de 5 cm. aprox.

Puede ser de aplicación preferente en caso de:

- Edificios de viviendas con planta irregular;
- Construcción poco industrializada;
- Apoyos en vigas planas a las que transmiten cargas importantes;
- Cuando se precise gran libertad para realizar cambios.



#### 2.1.1.1. Viguetas armadas

También llamadas semiviguetas en celosía o viguetas semirresistentes. En este tipo de vigueta la armadura no está pretensada y presenta un comportamiento similar a la armadura aportada y a la malla electrosoldada que se coloca en la losa de hormigón in situ. Tienen un grado menor de industrialización que las viguetas pretensadas (menor sección resistente prefabricada). Solamente se prefabrica en hormigón la zapatilla inferior sobre la que quedará anclada la armadura básica electrosoldada en celosía. La disposición más habitual es la individual (vigueta+bovedilla+vigueta), aunque por razones de proyecto pueden hacerse dobles (vigueta-vigueta+bovedilla+vigueta-vigueta). Comprenden alturas que rondan los 15 a 25 cm aprox.

Usos recomendados: forjados de pequeñas dimensiones, fundamentalmente pequeñas viviendas.



### 2.1.1.2. Viguetas pretensadas

Se pueden diferenciar dos tipos de viguetas pretensadas, autorresistente y semirresistente:

- Autorresistente (o autoportante): aquella que, sin apuntalar, es capaz de aguantar su peso propio, el de la bovedilla y el de la capa de compresión. Son viguetas con mayor grado de industrialización, que además están armadas en la parte superior.

Se fabrican viguetas de 13 a 22 cm de canto aprox., permitiendo alturas totales de forjado que llegan a los 35 cm y longitudes entre 3 y 6 m.

Tienen la ventaja de que se aguantan solas, sin necesidad de puntales. Como inconveniente frente a las semirresistentes está que trabajen por separado, por lo que el acabado del techo se puede fisurar como consecuencia de las sobrecargas que actúen sobre el forjado.

Usos recomendados: forjados sanitarios, forjados unidireccionales de espesor variable, dinteles de puertas y ventanas, pérgolas, correas de naves industriales, cargaderos, etc.



*Figura.- Modelos de viguetas pretensadas de una de las empresas asociadas. Los puntos dentro de la sección indican las posiciones de los alambres pretensados*

Una variante de la vigueta maciza autorresistente, es la vigueta tubular (misma que la vista en el apartado de correas). Suelen tener cantos entre 20 y 30 cm.

Uso: cargaderos de altas prestaciones, forjados unidireccionales de espesor variable sometidos a altas cargas, dinteles de puertas y/o ventanas con grandes luces y correas de naves industriales.



- Semirresistente: este tipo de vigueta se comporta en el conjunto del forjado de una manera más monolítica, ya que el hormigón de la capa de compresión enlaza bien y forma un cuerpo con la semivigueta, mediante los conectores que favorecen dicha adherencia.

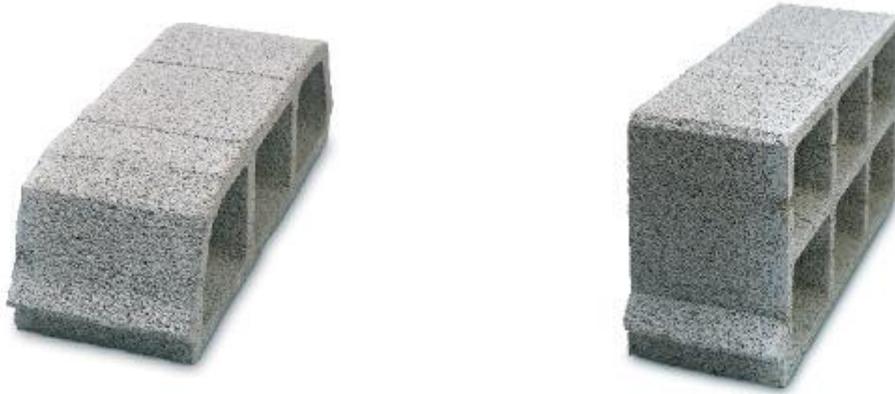
Se fabrican viguetas de 11 y 15 cm de canto aprox., para alturas de forjado terminado de hasta 35 cm.

En este caso, tienen el inconveniente de que exigen un apuntalamiento, pues solo son capaces de soportar su peso propio antes de que el forjado esté preparado para entrar en carga.

En los tipos de viguetas pretensadas, el armado principal se sitúa en la parte inferior (zona traccionada).

### 2.1.1.3. Bovedillas de hormigón

Elemento hueco de hormigón en masa, de consistencia semiseca, que se apoya sobre las alas inferiores de las viguetas, transmitiéndole a estas las cargas. Las dimensiones de la bovedilla fijarán el canto final del forjado y la distancia entre ejes. El canto suele ir desde 10 cm a 35 cm, y el ancho en torno a 52 cm, siendo la distancia entre ejes de 70 cm para los dos casos. El fondo suele ser de 20 cm.



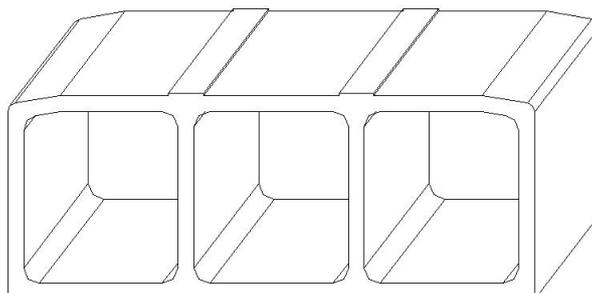
*Modelo de geometría 63 cm de anchura  
por 17 cm de altura*

*Modelo de geometría 63 cm de anchura  
por 25 cm de altura*

Se distinguen tres tipos de bovedillas en función de su contribución a la resistencia mecánica final de forjado:

- Bovedilla no resistente (es el caso más habitual);
- Bovedilla semirresistente: participa en la transferencia de cargas a las viguetas;
- Bovedilla resistente: con las mismas funciones que la bovedilla semirresistente pero cuyas alas superiores, en determinadas condiciones, pueden comportarse como una losa de compresión en el sistema de forjado final.

Otro sistema parecido es el de los forjados de bovedilla con nervio armado, aunque no vamos a profundizar en ello ya que se puede considerar como forjado resuelto totalmente en la propia obra. Se diferencia básicamente de la bovedilla para vigueta prefabricada, en que no dispone del rebaje de apoyo inferior para apoyar en la vigueta.



### 2.1.2. Algunas consideraciones de diseño

Las viguetas son el elemento resistente mientras que las bovedillas tienen una función aligerante y/o colaboradora con las viguetas.

La rigidez de este tipo de forjados se consigue mediante la incorporación de una losa armada de hormigón que une todos los nervios del forjado. Esta capa está compuesta por un mallazo (armadura electrosoldada con varillas de acero en dos direcciones perpendiculares) que se coloca sobre las bovedillas y que posteriormente se hormigona. Esta capa consigue el reparto uniforme de las cargas.

Al unirse hormigones de diferente edad, el hormigón del elemento prefabricado habrá experimentado ya una buena parte de su retracción, mientras que el hormigón colocado in situ comienza su retracción en el instante de la unión de ambos, produciéndose una retracción diferencial en virtud de la cual el hormigón joven tratará de acortarse más que el viejo, con lo que, si no falla la unión entre ambos, éste se encontrará comprimido y aquél traccionado, originándose además momentos internos debido a la excentricidad de los esfuerzos.

Por otra parte, los hormigones suelen ser de diferente calidad. Normalmente el hormigón del elemento prefabricado se ha producido en instalación industrial fija, posee mayor resistencia, ha sido compactado con sistemas especiales de vibración y ha experimentado un cuidadoso curado, frecuentemente a temperaturas más altas que las ambientales, además de haber sido sometido a un meticuloso control en todas sus fases.

El hormigón in situ no alcanza habitualmente la misma calidad.

Como consecuencia de todo lo expuesto, el módulo de deformación longitudinal del hormigón del elemento prefabricado es en general bastante mayor que el del hormigón in situ.

Lo que diferencia fundamentalmente a las secciones compuestas es la existencia de una superficie de contacto entre ambos hormigones en la cual se produce una tendencia al deslizamiento (tensiones rasantes) que la unión debe resistir.



### 2.1.3. Algunas consideraciones de puesta en obra

El forjado está constituido por piezas pequeñas y fácilmente manipulables por los propios operarios (menos de 1 kg de peso). Las correcciones en obra como cortes y taladros suelen ser de ejecución sencilla.

### 2.1.4. Ventajas

A diferencia de otros sistemas constructivos que emplean elementos prefabricados de hormigón, se puede considerar éste como un sistema tradicional, en el que el éxito o fracaso final está supeditado al buen hacer del constructor.

## 2.2. Casetones para forjados reticulares

### 2.2.1. Descripción

También conocido como bloque reticular, se trata del elemento base para la construcción de forjados reticulares o bidireccionales. Su función principal es la de aligerar el peso del forjado, aunque aquí compite con otros materiales más ligeros (arrita, poliestireno expandido, etc.).

Generalmente están fabricados con hormigón aligerado.

### 2.2.2. Algunas consideraciones de diseño

Su geometría es la de un cubo hueco sin la cara inferior y es una pieza que muchas veces se confunde con la bovedilla (de hecho, normalmente los fabricantes producen

ambos productos simultáneamente). Su anchura oscila entre 60 y 70 cm, mientras que el canto y el fondo son de 20 cm aprox.



### 2.2.3. Algunas consideraciones de puesta en obra

Son elementos fácilmente manipulables que se colocan de forma consecutiva hasta cubrir cada módulo resultante del zunchado ortogonal que delimitan las armaduras de obra (normalmente dos o tres).



### 2.2.4. Ventajas

Representa la solución de forjado menos industrializada, ya que el papel del elemento prefabricado se limita a hacer de elemento aligerante y encofrado perdido.

## 2.3. Sistemas de forjado con prelosas

### 2.3.1. Descripción

La prelosa es un elemento prefabricado superficial compuesto por una lámina inferior de hormigón de espesor constante y nervios en el sentido longitudinal de la misma, destinada a servir de encofrado para la losa que posteriormente se hormigonará in situ. Una vez endurecido el hormigón, conformará la placa compuesta con la prelosa.

Se puede asegurar que la prelosa es la evolución industrializada de la vigueta (mayor sección prefabricada, menor hormigón y armado a añadir en obra), ya que las viguetas quedan unidas por la lámina inferior continua.

Las prelosas están destinadas a ser utilizadas como una parte de forjados estructurales en aplicaciones donde no haya que salvar luces excesivas (máximo aproximado 8 m).

No deben confundirse las prelosas para edificación con las utilizadas en tableros de puentes (de unas dimensiones considerablemente mayores y con una importancia desde el punto de vista resistente muchísimo mayor).

Pueden ser:

- Armadas o pretensadas;
- Compuestas (con nervios rigidizadores);
- Con armaduras básicas electrosoldadas en celosía o sin nada; y
- Compuestas sólidas o compuestas huecas con elementos aligerantes (embebidos o pegados) estructurales o no;

#### 2.3.1.1. Prelosas armadas

Losa de hormigón con armadura básica electrosoldada en celosía, generalmente en la dirección longitudinal para aportar resistencia y rigidez en situaciones transitorias. El espesor de la losa oscila desde los 6 hasta los 20 cm y una anchura estándar de 120 cm, para forjados de hasta 50 cm de canto.



### 2.3.1.2. Prelosas pretensadas

Losas con dos o más nervios rigidizadores continuos, generalmente en la dirección longitudinal para aportar resistencia y rigidez en situaciones transitorias. Los anchos suelen ser de 600 mm o de 1.200 mm.



### 2.3.2. Algunas consideraciones de diseño

Las prelosas deben llevar armadura transversal de fábrica y eventualmente complementarla en obra.

Deben llevar armaduras salientes para permitir el apoyo, ya que las prelosas no entran en las vigas o sólo un par de cm.

Tanto en las prelosas armadas como en las pretensadas, entre los nervios se pueden insertar bloques de poliestireno expandido, a fin de aligerar el peso del forjado final (proporcionando además un aislamiento térmico parcial adicional).

La variedad de prelosas que ofrece el mercado es amplísima. Podemos encontrarnos con tipos de prelosas compuestas con otros materiales, por ejemplo, con una lámina intermedia en la losa inferior a base de arlita (árido de arcilla expandida) para mejorar las prestaciones del forjado en resistencia al fuego y aislamiento térmico.



*Figura.- Sótanos y plantas elevadas contruidos con prelosas con sistema de evacuación de agua, aportando estanqueidad, acústica y térmica. Primer edificio residencial en España con certificación Passivhaus*

### **2.3.3. Algunas consideraciones de fabricación**

Los elementos se producen por moldeo, fabricación en pistas o extrusión.

Se fabrican en pistas metálicas, con cantos biselados en los laterales, aportando así a este elemento un acabado óptimo en su superficie vista respecto a una ejecución con encofrados 'in situ'.

Su cara inferior es vista, totalmente plana y lisa. También es posible insertar los elementos necesarios como cajas eléctricas, puntos de luz, registros, etc. que permiten tener un techo liso sin necesidad de falsos techos.

### **2.3.4. Algunas consideraciones de puesta en obra**

Al tratarse de un forjado no autoportante, la prelosa actúa de encofrado y por lo tanto debe ser cimbrada. Este aspecto requiere una comprobación cuidadosa durante la

fase de construcción. Es de reseñar su facilidad y rapidez de montaje con grúa torre hasta prelosas de 7 m.

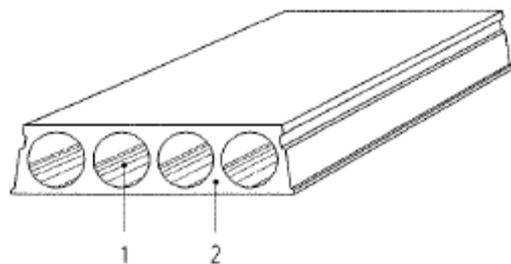
### 2.3.5. Ventajas

Representa un sistema más evolucionado que el tradicional de vigueta y bovedilla, y que podríamos calificar como de industrialización media. Como ventajas podríamos indicar que es de ejecución ágil y sencilla (al menos, la sección prefabricada) y que desaparece la necesidad de encofrar la planta en el caso de las prelosas pretensadas.

## 2.4. Placas alveolares

### 2.4.1. Descripción

Consiste en un elemento monolítico, generalmente pretensado, con un canto total constante, dividido en una placa superior e inferior (denominadas alas), unidas por almas verticales, formando así alveolos como huecos longitudinales en la sección transversal, que es constante y presenta un eje vertical simétrico. La misión fundamental de los alveolos es aligerar el peso del elemento buscando una sección resistente que optimice la relación solicitaciones estructurales / materiales y, con ello, reducir el coste.



- 1 Alveolo
- 2 Alma

Las placas tienen bordes laterales provistos con un perfil acanalado para crear una llave a cortante que transfiere el esfuerzo cortante a través de las juntas de las piezas contiguas. Para el efecto diafragma, las juntas tienen que funcionar como juntas horizontales a cortante. Pueden disponerse acanaladuras verticales para mejorar esta acción.

Es probablemente uno de los elementos prefabricados de hormigón con un mayor componente industrial y con una mayor variedad de aplicaciones, aunque en este documento nos vamos a centrar en su destino más habitual que es como elemento de forjado o cubierta:

- Edificación: todo tipo de edificios;
- Obra civil:
  - Pasos inferiores;
  - Pasarelas;
  - Contención de empujes;
  - Pantalanés.

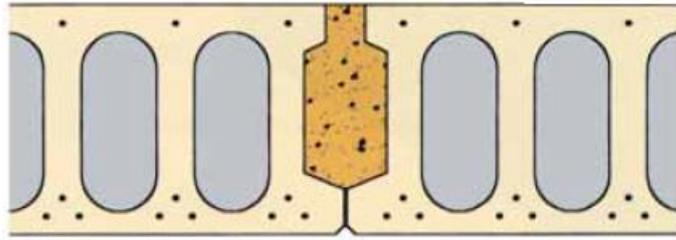
### 2.4.2. Algunas consideraciones de diseño

Los cantos estándar de la placa alveolar varían entre 12 cm y 50 cm, aunque han llegado ya a alcanzarse cantos de 1 metro. Su anchura estándar es 1,20 m.

La dimensión básica es la elección del canto de la placa, que depende básicamente de la relación entre luces a salvar y las cargas de proyecto.

Si bien la anchura más universal es 1.200 mm, hay países que bien por tradición u otras razones imponen otras medidas que implican una adaptación de las máquinas, como por ejemplo Rusia y los antiguos países de la Unión Soviética (800, 1.000 y 1.500 mm), Brasil (1.250 mm) o Arabia Saudí (900 y 1.100 mm).

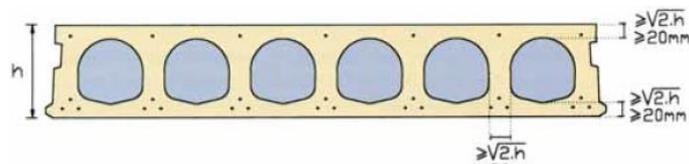
El perfil transversal de la placa alveolar para forjados está diseñado con la finalidad de que, al adosar las placas, éstas queden juntas en el borde inferior achaflanado, mientras que en el borde superior quedan separadas para permitir el macizado con hormigón de la junta y conseguir una perfecta unión, asegurándose así la formación de una llave que solidariza las placas y el monolitismo del paño de forjado. Cuando la junta deba contener una armadura longitudinal, la anchura de su abertura superior no será menor de 30 mm.



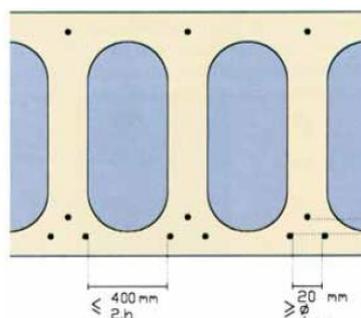
Los elementos se pueden usar actuando de forma conjunta con una capa de hormigón vertida in situ sobre la pieza. Esta es otra decisión de diseño crucial. El uso de esta losa permite aumentar los valores de resistencia y rigidez del forjado, pero se aumenta el peso propio y se pierde sencillez constructiva y rapidez.

Si la placa va a destinarse a formar paños verticales, los perfiles de las mismas serán machihembrados.

El espesor mínimo de las almas y de las alas superior e inferior no debe ser menor de 20 mm, ni del tamaño máximo del árido más 10 mm y guardará una relación con el canto de la placa (a mayor canto, mayores espesores).

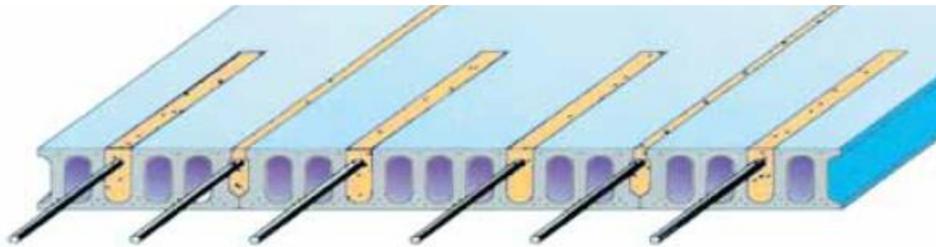


La disposición de las armaduras activas debe guardar también una relación geométrica tanto en la separación horizontal como en la vertical, según la normativa que aplique



Con carácter general, la placa alveolar no lleva armadura pasiva. La colocación de una armadura pasiva supone siempre un trabajo manual que interrumpe el proceso industrial de su fabricación, y por tanto, aumentando los costes de producción. Cuando la armadura pasiva sea necesaria, es preferible colocarla en obra.

Excepcionalmente, pueden colocarse armaduras pasivas longitudinales en canales creados rasgando la parte superior de los extremos de los alveolos, con el fin de disponer armaduras de negativos o anclar las placas en sus apoyos. Posteriormente se macizan estos canales con un buen hormigón, que puede tenerse en cuenta en la resistencia.



Los forjados pueden realizarse sin armadura transversal si el esfuerzo cortante de agotamiento de sus nervios es mayor o igual al esfuerzo cortante de cálculo. Si no es así, pueden aumentarse las dimensiones de los nervios o colocar armadura transversal, de estribos o de celosía, en las zonas que lo requieran.

La placa alveolar posee una gran resistencia a cortante, por lo que, en el procedimiento de fabricación habitual, no se dispone armadura transversal alguna, siendo el espesor de las almas y el esfuerzo de pretensado, proporcionado por la armadura activa, suficientes para resistir el esfuerzo cortante de cálculo. Cuando excepcionalmente sea necesario disponer armadura transversal, esta se colocará en las juntas o en los alveolos abiertos a tal efecto.

En el caso de que se conozca a priori la interacción del forjado con otros elementos de la obra (instalaciones, elementos estructurales, etc.), se pueden diseñar en planta estas modificaciones geométricas especiales (cortes, cajeados, perforaciones, etc.) pues resultarán mucho más precisas y económicas que si se realizan posteriormente en la fase de ejecución.

Por último, los alveolos son espacios huecos que se prestan a alojar en su interior otros elementos como instalaciones de agua, calefacción, electricidad, e incluso materiales de cambio de fase para mejorar la eficiencia energética global del edificio.

### 2.4.3. Algunas consideraciones de fabricación

Los elementos se producen en fábrica por extrusión, encofrado deslizante o moldeo, generalmente en pistas continuas de gran longitud (hasta 150 m), en cuyos extremos se disponen unas fuertes bancadas firmemente fijadas al terreno, capaces de soportar las enormes fuerzas de tesado transmitidas. Estas pistas cuentan con unos carriles longitudinales formando vías sobre las que rodarán las máquinas específicas, cuyos encofrados dan forma a las placas con sus alveolos. Estas máquinas van provistas de una tolva por la que reciben el hormigón, vibradores, y otros elementos auxiliares.



Estas máquinas avanzan a una velocidad aproximada de 1 metro / minuto, por lo que es imprescindible que el hormigón utilizado tenga una consistencia seca (relaciones agua / cemento muy bajas, de entre 0,15 y 0,20 aprox.) de forma que se evite el desmoronamiento de la placa recién moldeada.

Otro aspecto a destacar es la cubrición de la pista al finalizar la fabricación con una lona para retener la humedad durante el proceso de endurecimiento y curado a corto plazo, retirándose cuando el hormigón haya alcanzado la resistencia requerida para la transferencia del pretensado (de 10 a 12 h en el caso de pistas calefactadas y de 36 a 48 h, dependiendo de la temperatura ambiente, de los componentes del hormigón y de su dosificación, si no existe aportación exterior de calor).

Durante la fase de producción o posteriormente, se pueden hacer placas accesorias (elementos estrechos de placa) y huecos a las placas alveolares. Las placas alveolares pueden disponer de medidas para la activación térmica, la calefacción, la refrigeración, el aislamiento acústico, etc. Debido a estas medidas, la temperatura del hormigón permanece en su rango natural.

### 2.4.4. Algunas consideraciones de puesta en obra

Para que un conjunto de placas pueda considerarse como un forjado, es necesario darle una continuidad transversal que establezca la colaboración de unas placas con otras y se redistribuyan, asegurando además las condiciones de aislamiento acústico, térmico y estanquidad requeridas. Esto se consigue mediante macizado con hormigón de las juntas entre placas consecutivas. El macizado crea una llave que obliga a trabajar conjuntamente a las placas al forzarlas a desplazamientos verticales iguales.

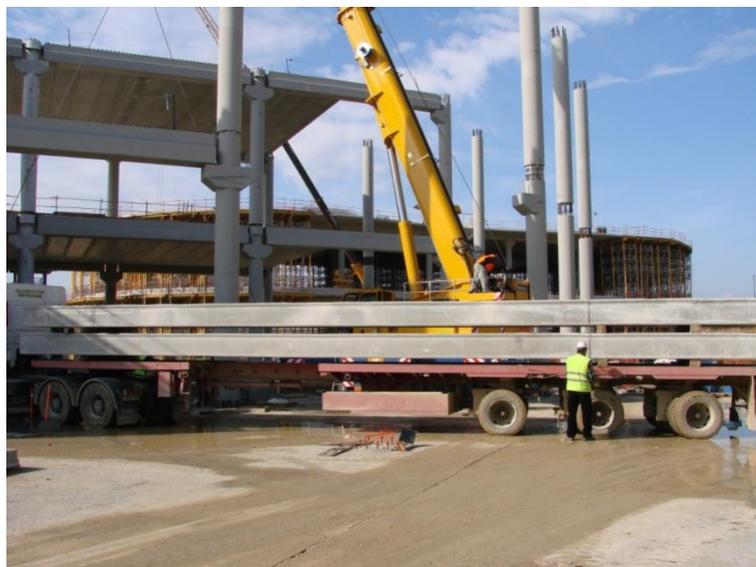
En los forjados de placas alveolares puede prescindirse de la losa superior compuesta por un mallazo (denominada armadura de reparto) y hormigón vertido in situ, siempre que se comprueben las condiciones resistentes y de deformación. En caso de ser necesaria, por razones de acciones laterales importantes o refuerzo de algunas prestaciones del forjado (como la rigidez, la acción diafragma, la resistencia frente a sobrecargas concentradas o la mejor redistribución de cargas puntuales móviles), el espesor mínimo de la losa ronda habitualmente los 40-50 mm.



### 2.4.5. Ventajas

Posiblemente la placa alveolar represente uno de los elementos prefabricados de hormigón donde más se destacan las ventajas de la construcción industrializada, al ser una solución que puede llegar casi a eliminar la ejecución in situ:

- Mayor grado de prefabricación, más industrialización del forjado:
  - Rapidez de ejecución, elementos que pueden instalarse incluso directamente desde la caja del camión, sin necesidad de acopio en obra;
  - Sencillez constructiva;
  - Precisión dimensional;
  - Mejores acabados;
  - Minimiza el error humano, al limitar enormemente las tareas de ejecución en obra;
  - Productos industriales: el control en obra se puede limitar a una verificación documental (no hay necesidades de realizar numerosos controles de recepción y ensayos para verificar las condiciones de los materiales con que se ejecutan los forjados de forma tradicional).



- Posibilidad de prescindir de las sopandas (menores medios materiales necesarios, ejecución más ágil).

- Solución prefabricada de forjado con un mayor rango de aplicaciones (luces pequeñas: forjados sanitarios, edificación residencial; luces grandes: otros tipos de edificaciones, luces hasta 20 m aprox.)
- Autoportante: una vez montada la placa alveolar, la planta queda inmediatamente transitable para que los operarios puedan discurrir por ella y trabajar.



- Versatilidad: ya hemos indicado que es un elemento que encaja en numerosas aplicaciones constructivas:
  - Colocación en posición horizontal: por la gran luz que puede alcanzar y las fuertes cargas que es capaz de soportar, unido a su facilidad de montaje, puede utilizarse en pasos para tráfico. Gracias a la seguridad ante la fisuración que le confiere el pretensado, es adecuada ambientes agresivos por lo que es una magnífica opción para cubrir depósitos y canales, construir graderíos y tribunas, realizar obras marítimas e industriales, etc.
  - Colocación en posición inclinada: para formar faldones de cubierta, tanto en dirección de la pendiente como perpendicular a ella; construcción de escaleras y rampas, etc.
  - Colocación en posición vertical: realizar grandes cerramientos; paredes de depósitos y silos; resolver muros, tablestacados y pantallas para contención de empujes, etc.

## 2.5. Losas macizas

A diferencia de las losas alveolares, son elementos de hormigón armado y/o pretensado sin ningún aligeramiento. Los fabricantes adaptan los elementos a los requerimientos mecánicos y geométricos del forjado o cubierta. Con perfil machihembrado a ambos lados, para permitir el encaje de unas piezas en otras. Pueden completarse en obra con una capa de hormigón in situ y/o con el acabado superficial final (laminado de madera, pintura, etc.). Tiene la limitación del peso (piezas de anchura máxima hasta 4 m), pero resulta una alternativa válida para los forjados resueltos completamente in situ. Otra opción, cada vez más empleada, es como balcón o terraza, siendo un elemento que trabajará en voladizo y se sujetará al resto del forjado del edificio o ser una prolongación de éste. Además, pueden incorporar de fábrica otros elementos como sumideros para la recogida de agua o las propias barandillas perimetrales.



## 2.6. Elementos nervados para forjados

### 2.6.1. Descripción

Los elementos nervados para forjados, también llamado tipo PI, están compuestos por una placa superior y un nervio (en "T") o generalmente dos nervios (*double tee*) que contienen la armadura longitudinal principal; también pueden constar de una placa inferior y nervios transversales.

De aplicación en aquellos espacios donde se requiera alcanzar unas luces relativamente importantes (hasta 30 m aprox.), como por ejemplo parkings, y que no sea siempre necesario que se mantenga un acabado inferior plano (a no ser que exista un falso techo).

### 2.6.2. Algunas consideraciones de diseño

Puede colocarse con y sin losa de hormigón in situ. Respecto a la placa alveolar, necesita más altura de forjado, ya que toda la resistencia de la pieza se confiere a los nervios. A favor, tiene un menor peso propio del forjado y una buena relación entre coste y prestaciones mecánicas.

En obras en que la reducción del canto total no es fundamental, permite adoptar una solución estética diferente a los forjados planos.

La anchura estándar es de 3 – 4 m y los cantos variables, desde 30 cm hasta 1 m aprox. El ala superior suele ser de unos 5 o 6 cm de espesor.

De acuerdo con las diferentes situaciones, los elementos pueden:

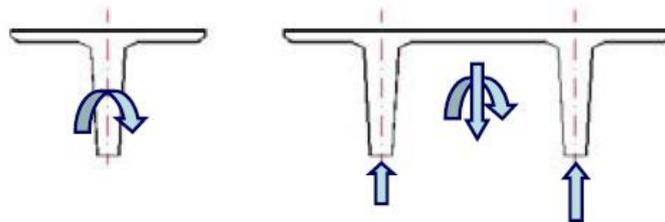
- Ser puestos en obra sin conexiones transversales, sosteniendo eventualmente elementos secundarios entre ellos (elementos aislados);
- Estar dotados de placas de acero en los extremos laterales con objeto de conectarlos por sus alas mediante conectores de cortante soldados;
- Tener forma de llaves a cortante en sus extremos laterales con objeto de conectarlos mediante juntas de cortante fabricadas in-situ, y/o provistos de placas de acero para conexiones soldadas in-situ;
- Si se hormigona in situ para garantizar la adherencia, se podrá disponer de armaduras de acero salientes en los elementos.

Igual que en el caso de la prelosa, hay alguna empresa que comercializa un tipo de elemento nervado que lleva incorporada una lámina interior de arlita para mejorar las prestaciones térmicas y de resistencia al fuego.

En general, al igual que para otras piezas pretensadas, sus dimensiones se han optimizado en ocasiones recurriendo a proyecto mediante ensayos.

### 2.6.3. Algunas consideraciones de puesta en obra

La sección T es más inestable durante el montaje. La sección TT es autoestable pero necesita nivelar cuidadosamente la posición de los cuatro puntos de apoyo para evitar la fisuración de la losa de cabeza.



En este tipo de piezas pueden ser críticas las condiciones de anclaje. Admiten detalles que permitan dotar de continuidad estructural, generalmente sólo para las sobrecargas.

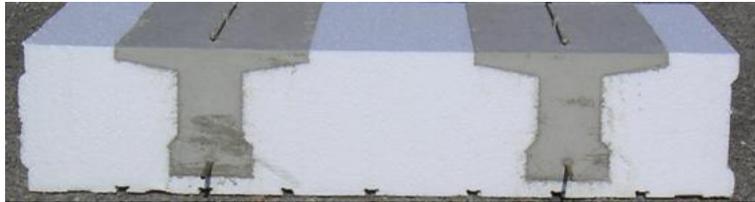
### 2.6.4. Ventajas

Uno de los elementos prefabricados de hormigón para forjados con un mayor componente industrial; por tanto: rapidez de ejecución, fiabilidad (se reduce la intervención humana en la ejecución), etc.



## 2.7. Otros elementos prefabricados de hormigón para forjados

La variedad de productos prefabricados de hormigón para forjados que podemos encontrarnos en el mercado es realmente amplia, con modelos que en muchos casos son variantes o evoluciones de las soluciones más conocidas y descritas anteriormente, siendo muchos objeto de patente. La innovación juega aquí un papel reseñable en la industria, ya que se trabaja en la búsqueda de encontrar soluciones que den respuesta de forma combinada de los requerimientos resistentes del forjado con otras prestaciones (térmica, fuego, acústica, etc.) de forma que el producto tenga un valor añadido frente a otros materiales.



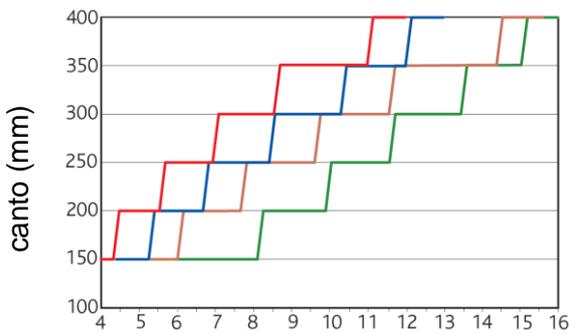
*Figura.- Tipo de placa formada por dos nervios de hormigón armado en forma de doble "T" unidos por una pieza de poliestireno expandido a la que se añade en obra una losa de hormigón vertida in situ*

### 3. DISEÑO DEL FORJADO DE PLACAS ALVEOLARES

#### 3.1. Elección del sistema de forjado

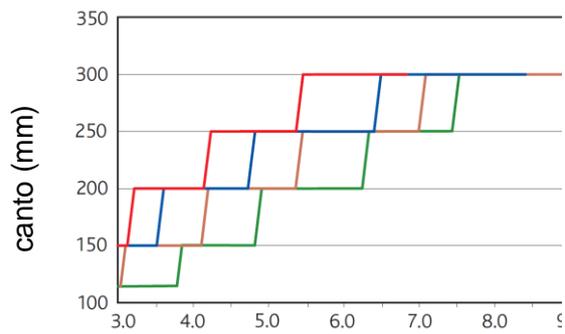
Como indicamos en el [primer apartado](#), existe una variedad de elementos prefabricados de hormigón destinados al diseño y construcción de forjados, que implican un creciente grado de industrialización.

Placa alveolar



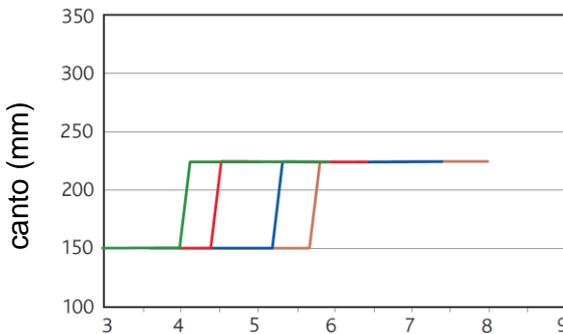
Luz (metros)

Prelosa armada



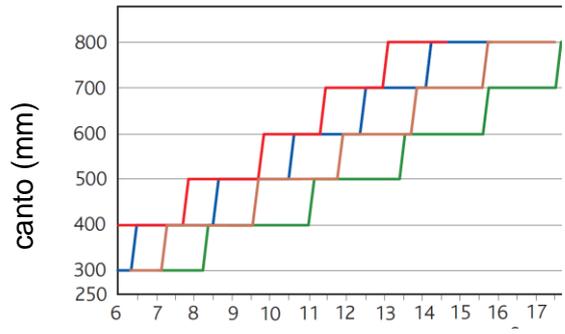
Luz (metros)

Vigueta y bovedilla



Luz (metros)

Placas nervadas



Luz (metros)

Cargas de diseño

IL= 2.5 kN/m<sup>2</sup>

IL= 5.0 kN/m<sup>2</sup>

---

$$IL = 7.5 \text{ kN/m}^2$$

---

$$IL = 10.0 \text{ kN/m}^2$$

*Fuente: "Precast concrete in buildings. A guide to design and construction". The Concrete Centre*

Con frecuencia existe una idea preconcebida sobre el sistema que se utilizará en el forjado. Esto puede deberse a relaciones comerciales pre-existentes o a los hábitos de construcción: quizás las zonas rurales son más propensas a los sistemas tradicionales, frente a las zonas urbanas donde se suele observar un mayor grado de industrialización.

El coste es normalmente el otro factor clave, teniendo en cuenta que el forjado puede llegar a representar entre el 10 y el 15% del coste total del edificio. Por tanto, deberán evaluarse los costes de los diferentes sistemas posibles a fin de elegir el más idóneo económicamente y sin menoscabo de las condiciones técnicas y funcionales:

- Elementos prefabricados existentes en la zona: el transporte a gran distancia influiría podría repercutir negativamente;
- Calidad posible del hormigón en función de los materiales locales y los medios de fabricación;
- La disponibilidad de mano de obra cualificada;
- Los medios auxiliares con los que podrá contarse para la elevación, compactación, ferrallado, apuntalado, encofrado, etc.;
- La frecuencia previsible del control y la vigilancia técnica de la obra;
- El nivel de control de calidad previsto, tanto de los materiales como de la ejecución.
- El acabado inferior del forjado es importante cuando deba quedar visto y presentar buena apariencia. Si el techo debe ser plano, habrá que desechar los forjados reticulares. Los forjados de losas alveolares pretensadas ofrecen, en general, un buen acabado inferior, pero en caso de tendidos de yeso, es fácil que se marquen las juntas. Con frecuencia, las ventajas de

estos forjados compensan el costo de disponer bajo ellos un falso techo. Cuando la apariencia del techo no tiene una importancia extrema (aparcamientos, edificios industriales, etc.) este inconveniente desaparece;

- Cuanto menor sea la capacitación de la mano de obra disponible, debe aplicarse mayor grado de prefabricación y de simplificación constructiva;
- En los casos en los que convenga prescindir de sopandas y puntales y existan alturas de encofrado o luces de cierta consideración, resultará preferible el empleo de las losas alveolares pretensadas frente a las viguetas. No obstante, habrá que realizar la comprobación de que serán capaces de prescindir de apuntalamientos o sopandados previos al vertido de la capa de compresión (si se dispone de ella) para esta fase de ejecución, ya que el hormigón vertido resulta ser una simple carga más a tener en cuenta, ya que hasta que no esté endurecido no aportará ninguna colaboración al conjunto.

Por ser las placas alveolares el sistema de forjado más industrializado resuelto con elementos prefabricados de hormigón y con ello las ventajas de que de ello se derivan, este apartado está desarrollado fundamentalmente en los criterios de diseño que deben tenerse en cuenta para esta tipología constructiva, al ser una solución que puede llegar casi a eliminar la ejecución in situ:

- Sencillez constructiva y precisión dimensional;
- Mejores acabados;
- Minimiza el error humano, al limitar enormemente las tareas de ejecución en obra;
- Posibilidad de prescindir de las sopandas (menores medios materiales necesarios, ejecución más ágil).
- Una vez montada la placa alveolar, la planta queda inmediatamente transitable para que los operarios puedan discurrir por ella y trabajar;
- Por la gran luz que puede alcanzar y las fuertes cargas que es capaz de soportar, puede utilizarse, bajo determinados diseños, hasta en pasos para

tráfico pesado. Actualmente se fabrican losas alveolares pretensadas de cantos de hasta 1 m, con sistemas de fabricación que además permiten disponer en su interior sistemas de armaduras pasivas, capaces de cubrir importantes esfuerzos de cortante y mejorar su resistencia a la fatiga en ciclos repetidos de carga – descarga.

- Gracias a la seguridad ante la fisuración que le confiere el pretensado, resulta más adecuada que el hormigón armado en ambientes agresivos, por lo que es una magnífica opción para cubrir depósitos y canales, construir graderíos y tribunas, realizar obras marítimas e industriales, etc.

### 3.2. Funciones

Los forjados tienen una gran importancia en las estructuras de edificación. Son los que enlazan los pórticos haciendo que trabajen como un conjunto tridimensional.

Los forjados son muy vulnerables al recibir en primera instancia las acciones gravitatorias y sus impactos. Si se deforman en exceso, pueden dañar a los tabiques y otros elementos. Su incidencia económica es grande, lo que obliga a optimizar sus prestaciones buscando reducir su coste (o al menos, no incrementarlo).

Dentro de los forjados, los unidireccionales tienen un carácter singular. Su estudio presenta grandes dificultades nacidas principalmente de la combinación de elementos prefabricados, ya sean de hormigón armado o pretensado, con materiales colocados en obra, dando lugar a secciones compuestas en que se producen esfuerzos rasantes, retracciones diferenciales y resistencias conjuntas complejas.

#### 3.2.1. Soporte y transmisión de las cargas

Esta función es tan evidente que puede hacer olvidar otras funciones de no menor importancia. La distribución real de las sobrecargas sobre el forjado puede apartarse mucho del modelo de distribución uniforme que generalmente se supone. En la realidad, el forjado tendrá zonas fuertemente cargadas en las que se supere el valor de la sobrecarga media considerada en el cálculo (librerías, archivadores, concentración ocasional de personas, etc.) y otras sin apenas sobrecarga.

En un forjado unidireccional (ya hemos visto que la mayoría de forjados con prefabricados de hormigón trabajan así), las bandas más cargadas, que pueden estar

constituidas por el conjunto de viguetas o nervios que colaboran en la transmisión de la carga a los apoyos, estarán sometidas a esfuerzos reales muy superiores a los calculados. En cambio, los elementos de apoyo del forjado reciben bandas cargadas y bandas descargadas, de modo que se compensan aproximándose a los supuestos teóricos.

### 3.2.2. Distribuir de fuerzas entre pórticos

Existen acciones como el viento, el sismo, los empujes de tierras o los efectos de frenado que actúan fundamentalmente según el plano medio de los forjados horizontales. Estos deben recoger las fuerzas resultantes comportándose como vigas de gran canto dispuestas horizontalmente, capaces de transmitir adecuadamente estos efectos a los pórticos (función diafragma). La función diafragma del forjado permite que las fuerzas horizontales sean conducidas a las vigas y a su vez, a los pilares, los núcleos, pantallas o muros contraviento de que disponga la estructura.

Para cumplir esta función diafragma, los forjados deben poseer, al menos, una losa continua que en los forjados de viguetas es la capa de compresión y que en los forjados de placas alveolares pretensadas son las juntas que dejan sus dos alas laterales y el relleno de hormigón (macizado) dispuesto sobre las mismas.

La gran rigidez del diafragma hace que el forjado de cada planta se desplace en su plano como un cuerpo rígido, imponiendo iguales corrimientos a los nudos situados a su nivel, incluidos los extremos de los pilares que reaccionarán según sus rigideces.

### 3.2.3. Arriostramiento

El forjado tiene la importante misión de enlazar los diferentes pórticos de la estructura haciendo que trabajen conjuntamente, ayudándose unos a otros en la resistencia ante las diferentes fuerzas que la solicitan y, por tanto, estabilizando la estructura en su conjunto.

Cuando los forjados se empotran en las vigas, incrementan la rigidez y resistencia de éstas a flexión y torsión, reduciendo la traslacionabilidad de la estructura.

Los forjados obligan a un desplazamiento conjunto de los pórticos, normales a la dirección de las fuerzas horizontales, transmitiendo estas fuerzas mediante la función

del diafragma, pero en el caso de forjados simplemente apoyados, al no formar nudos rígidos con las vigas, no colaboran para aminorar dicho desplazamiento.

Cuando los forjados se encuentran empotrados con las vigas, la inclinación que los pórticos sufren, fuerza el giro de los extremos de los forjados que, al resistirse por flexión, reducen la traslación del conjunto. En este caso, deberán tenerse en cuenta los esfuerzos inducidos en el forjado por el efecto diafragma, superponiendo a los esfuerzos debidos a las acciones gravitatorias (u otras) los causados por las fuerzas horizontales en cada sentido posible.



### 3.2.4. Evitar el pandeo lateral de las vigas

La zona comprimida de las vigas puede pandear lateralmente. Si el forjado se encuentra eficazmente conectado con el cordón comprimido en determinados puntos, la distancia entre estos puntos será la longitud de pandeo. Cuanto menor sea esta distancia, menor será el riesgo de pandeo lateral.

En un forjado de viguetas adecuadamente conectadas, su intereje será la longitud de pandeo, que resultará muy reducida respecto a la luz de la viga. No obstante, en las ménsulas de las vigas, el cordón comprimido es el inferior, de modo que si el forjado se encuentra sobre el cordón superior, no resultará eficaz a estos efectos.

### 3.2.5. Cortar la longitud de pandeo de los soportes

Los soportes tienen coaccionado el desplazamiento en los planos de intersección con los forjados, de modo que en general, su longitud de pandeo podrá deformarse igual a la distancia entre dichos planos conformados por los forjados, por lo que su longitud de pandeo, se corresponderá con la altura entre plantas de forjados.

Si un pilar atraviesa un forjado sin conectar con él, su longitud de pandeo aumenta con las consecuencias correspondientes. Si un pilar se encuentra conectado con los forjados de todas las plantas, su longitud real puede considerarse igual a la altura de las plantas en cada tramo. Sin embargo, si un pilar se encuentra sin conexión entre los forjados de las distintas plantas, la longitud es mucho mayor.

### 3.2.6. Contribuir a reducir la torsión en las vigas

Como ya se ha comentado, para que el forjado produzca el efecto diafragma, los forjados se deben entregar sobre las jácenas, mediante nudos que constructivamente resulten empotrados y monolitizados. Este tipo de entregas, en general, son propios de forjados dimensionados como continuos. En este caso de forjados continuos, la desigualdad de luces del forjado provocará efectos de torsión en las vigas.

También se provocarán torsiones en las vigas “de orilla” o que solo reciban forjado por uno de sus dos lados.

Así mismo, el propio efecto diafragma de un forjado así diseñado, también provocará torsiones sobre las vigas debido al propio esfuerzo horizontal, transmitido por el forjado, a las mismas.

Si la viga no posee suficiente rigidez a torsión, puede sufrir un giro o incluso colapsar, si la viga agota su resistencia a torsión. Se trata de “Torsión de equilibrio”, en que la resistencia a torsión de la viga es necesaria para que pueda establecerse el equilibrio entre el momento torsor aplicado y los momentos torsores reacción.

Desde otro punto de vista, la viga girará tanto como le permita la rigidez del forjado en compatibilidad con el propio giro que este pueda producir. Por lo que el forjado salvará cualquier deficiencia a la resistencia a torsión de la viga.



### 3.2.7. Compartimentador en sectores de incendio

En caso de incendio, los forjados deben impedir la propagación en vertical del fuego en las condiciones establecidas en la reglamentación vigente en el caso de protecciones contra el fuego. Además, debe destacarse la notable aportación adicional a la resistencia frente al fuego, que ofrecen las disposiciones de tendidos de yeso (1 ó 2 cm de espesor) que se suelen aplicar en las caras inferiores de los forjados.

En los elementos huecos no conectados al exterior, el calentamiento del gas interior que se genera en condiciones de fuego produce una presión en el interior de los alvéolos, que induce esfuerzos en las paredes que pueden ser llegar a ser importantes tras un tiempo de exposición al fuego. Por tanto, es conveniente dotar a las losas alveolares de respiraderos para reducir la carga térmica durante el incendio.



### 3.2.8. Aislamiento acústico entre plantas

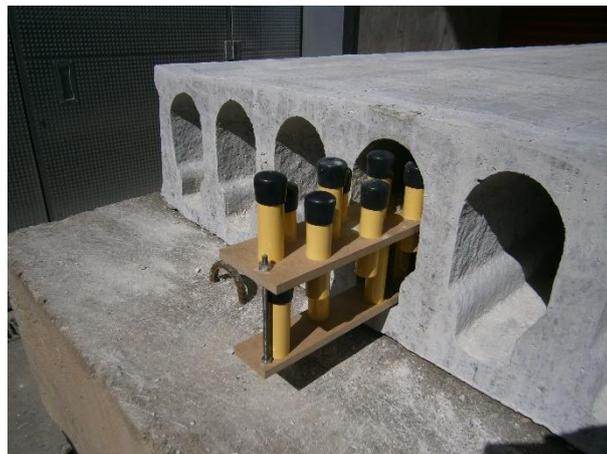
Los forjados deben contribuir a conseguir suficiente aislamiento acústico entre las plantas que separan, tanto a ruido aéreo como a ruido de impacto.

Frente a la transmisión de ruido aéreo, el principal obstáculo lo asegura la propia masa del forjado. Con respecto al ruido por impacto, la composición del entrevigado si la hubiere (bovedillas o elementos de aligeramiento del forjado) repercute notablemente sobre este fenómeno.

### 3.2.9. Eficiencia energética

El aislamiento térmico sólo se requiere en el caso de que el forjado sea elemento separador de locales o pisos a temperaturas de operación distintas, por ejemplo, entre una vivienda climatizada y un trastero no calefactado, de forma que se limiten las pérdidas de energía entre plantas.

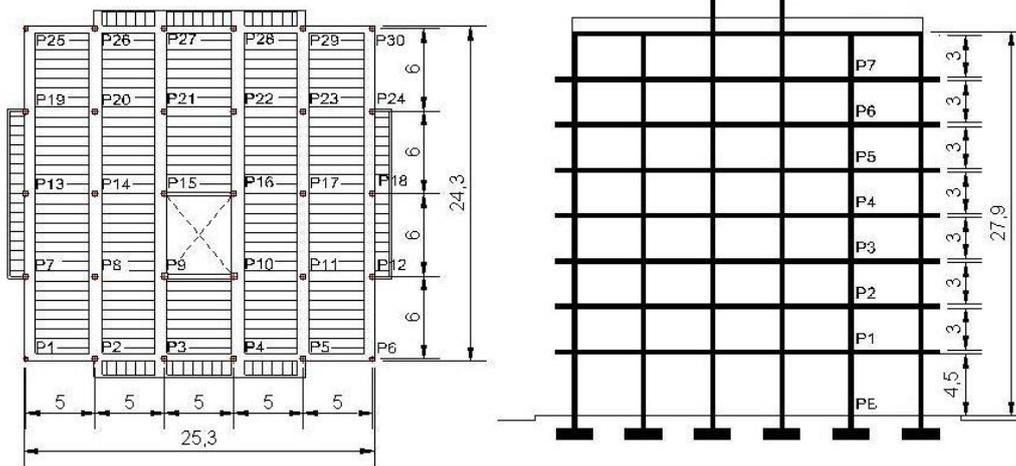
Cabe destacar por otro lado la posibilidad de que los alveolos sean utilizados para alojar conductos, u otros elementos (caso de los materiales de cambio de fase, ó PCM's), de forma que el forjado actúe como termorregulador y se minimicen las necesidades de aporte energético, especialmente en las épocas y climas más cálidos.



### 3.3. Modulación del forjado

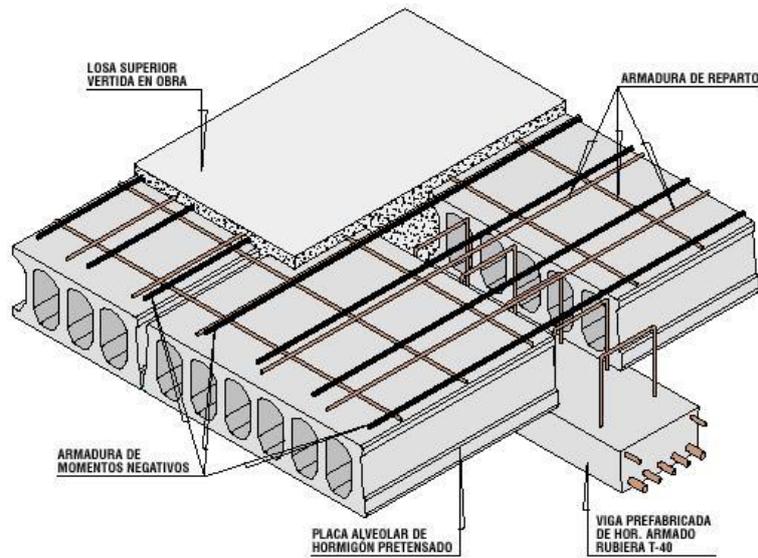
Como en cualquier estructura, el proyecto de un forjado comienza por la recogida de datos: definición de las cargas a soportar, área a cubrir, disposición geométrica, elementos a salvar, etc. Se parte de las plantas en las que el forjado quede definido,

con sus luces, direcciones de trabajo y elementos de apoyo. En los forjados unidireccionales, la dirección de trabajo elegida suele coincidir con la menor luz del paño (por ejemplo, de pódico a pódico, o de jácena a jácena).



Se necesita resolver adecuadamente los voladizos, eligiendo entre que vuelen las vigas (ménsulas) y el forjado se apoye en ellas, o que vuele directamente el forjado. En este caso, cuando se trate de viguetas, puede ser necesario macizar la zona de mayores momentos negativos, con la intención de aumentar la capacidad a compresión de la sección, en este caso, la correspondiente a la zona inferior del voladizo.

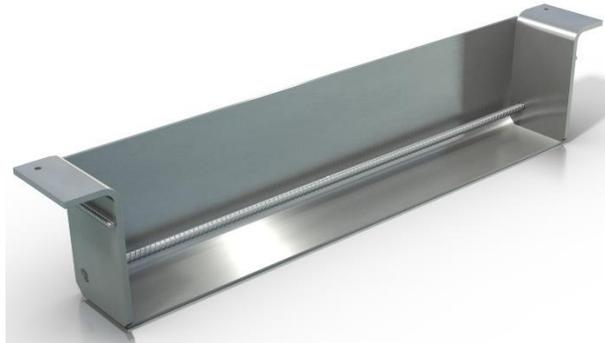
Otra situación a destacar es aquella en que el forjado vuela en dirección distinta que el forjado del que arranca, en cuyo caso su armadura de negativos debe alojarse en la capa de compresión de éste.



En los planos del forjado, es importante definir la anchura de las vigas con las que enlaza el forjado, a fin de hacer su medición correctamente y conocer la longitud con qué los elementos prefabricados deben diseñarse, para que su entrega o apoyo sobre las vigas sea la conveniente. Cuando el forjado acometa a una viga no plana por debajo, o a media altura, deberá destacarse este detalle en los planos.

La modulación y despiece de las placas alveolares que cubrirán el forjado tendrá que considerar en el proyecto, aquellas placas que haya que modificar su geometría ya sea por cortes oblicuos o porque haya que crear piezas especiales de menor anchura (45 cm, 60 cm, 75 cm, etc.)

Otros puntos a resolver son las escaleras, pasos de instalaciones y otros huecos que abarquen varias viguetas o losas. En los forjados de losas alveolares pretensadas, los huecos cuya amplitud sea la de una losa pueden solucionarse con piezas metálicas, que se apoyen sobre las placas que bordean al hueco. Con esta solución se pueden sustituir, la ejecución de las engorrosas vigas-brochal. Piezas semejantes, pero más reforzadas, podrán recoger más de una losa. Para este tipo de solución, utilizando estas piezas metálicas (también llamadas perchas o barquetas) se deberá tener muy en cuenta el dimensionado de las losas donde se apoyan dichos elementos, debido el incremento de la carga transmitida y por supuesto en forma de carga puntual. Estas placas que reciben las cargas transmitidas por esta disposición, de mayor capacidad a flexión que el resto del conjunto de las placas, se detallarán perfectamente en los planos para poder identificarlas fácilmente y que queden montadas en el lugar conveniente.



*Figura.- Bandeja de soporte de uno de nuestros socios adheridos para placa alveolar*

En cualquier caso, cualquier modificación en obra resultará mucho más compleja y costosa, por lo que es fundamental tenerlo en cuenta en el proyecto.



*Figura.- Placas con un corte oblicuo efectuado en fábrica, ya instaladas en el forjado*

### **3.4. Predimensionamiento**

Antes de entrar con el cálculo propiamente dicho, y de que intervenga el prefabricador, la oficina técnica de proyecto puede llevar a cabo un predimensionamiento del forjado de forma que pueda determinar el canto que va a necesitar el forjado según las luces y acciones a que estará sometido y la disposición geométrica que deberá cubrir, y con esta información hacer un presupuesto previo del coste del forjado.

En primer lugar, se definen y cuantifican las acciones que el forjado deberá soportar, distinguiendo entre acciones permanentes y variables. Se establecerán los

coeficientes de seguridad de los materiales e igualmente los coeficientes de mayoración de las acciones.

Es conveniente elegir un canto para el que no sea necesario hacer la comprobación de flecha. Será necesario saber si el forjado será capaz de soportar o no, tabiques o muros que puedan ser dañados por la deformación del forjado.

Una opción interesante, antes de entrar en cálculos más avanzados y simplemente para valorar la conveniencia del uso de la placa alveolar, es la de recurrir al empleo de tablas de obtención de cantos mínimos. Se entra en cada tabla por la luz de cálculo del forjado y la carga total de éste.

**Luz de cálculo entre 4 y 8 metros**

Carga total (kN/m <sup>2</sup> )	Uso del tramo	Luz de cálculo (m)									
		4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	
6,5	Normal	10	11	13	14	16	18	19	21	23	
	Cubierta	8	9	10	11	13	14	15	17	18	
7,0	Normal	10	12	13	15	17	18	20	22	24	
	Cubierta	8	9	11	12	13	15	16	18	19	
8,0	Normal	11	12	14	16	18	20	21	23	25	
	Cubierta	9	10	11	13	14	16	17	19	20	
9,0	Normal	11	13	15	17	19	21	23	25	27	
	Cubierta	9	11	12	13	15	16	18	20	21	
10,0	Normal	12	14	16	18	20	22	24	26	28	
	Cubierta	10	11	13	14	16	17	19	21	23	
11,0	Normal	13	15	16	19	21	23	25	27	30	
	Cubierta	10	12	13	15	17	18	20	22	24	

**Luz de cálculo entre 8,5 y 15 metros**

Carga total (kN/m <sup>2</sup> )	Uso del tramo	Luz de cálculo (m)									
		8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	
6,5	Normal	24	26	28	30	34	38	42	46	50	
	Cubierta	20	21	23	24	27	30	34	37	40	
7,0	Normal	26	28	30	31	35	39	44	48	NN**	
	Cubierta	20	22	24	25	28	31	35	38	42	
8,0	Normal	27	29	32	34	38	42	47	NN	NN	
	Cubierta	22	24	25	27	30	34	37	41	45	
9,0	Normal	29	31	33	35	40	44	49	NN	NN	
	Cubierta	23	25	27	28	32	36	39	43	47	
10,0	Normal	30	33	35	37	42	47	NN	NN	NN	
	Cubierta	24	26	28	30	34	37	42	46	50	
11,0	Normal	32	34	37	39	44	49	NN	NN	NN	
	Cubierta	26	28	30	31	35	39	44	48	NN	

Canto mínimo de forjado en cm.

Las casillas con fondo blanco corresponden a cantos teóricos que no se comercializan normalmente; sus valores son sólo experimentales en relación con la aplicación del método.

Las columnas correspondientes a 13, 14 y 15 m sólo son válidas a título informativo, dado que en estas condiciones las deformaciones siempre deben justificarse.

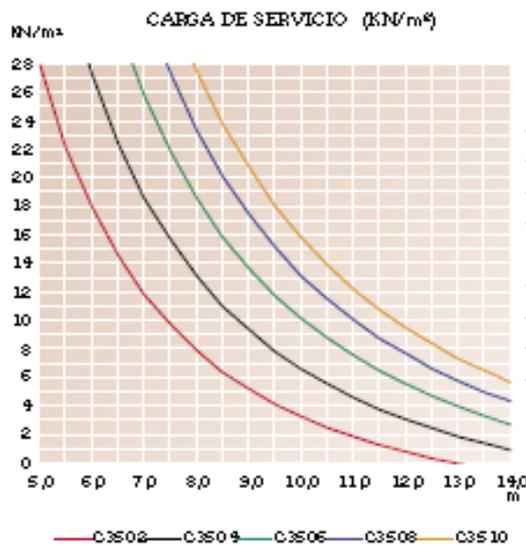
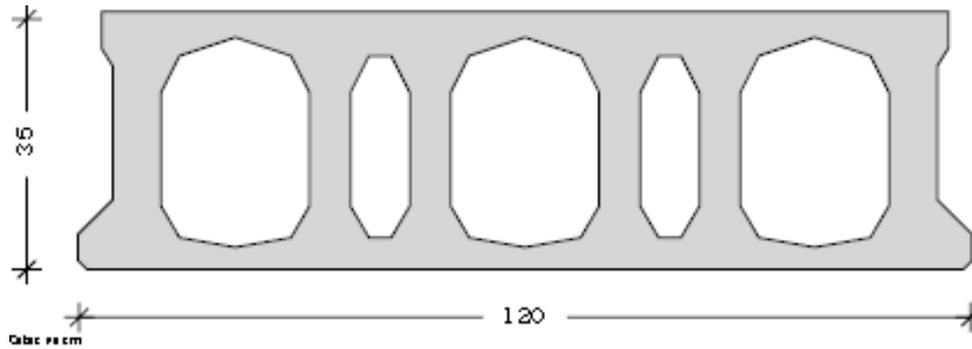
\* NN: forjados de canto superior al máximo considerado por la Instrucción (50 cm).

Figura.- Tablas de predimensionamiento de placas. Fuente: Guía para el uso de la Instrucción EFHE

Elegido el canto y el tipo del forjado, evaluaremos su peso propio, que formará parte de las acciones a considerar en el cálculo.

Recogida esta información, pueden darse dos casos:

- 1) No se conoce el modelo comercial específico (fabricante, marca, tipo, etc.) del sistema de forjado a emplear. En este caso, solo podrán definirse los esfuerzos y demás condiciones que deberá satisfacer el forjado. Fundamentalmente, se trata de determinar los momentos y cortantes a que habrá que hacer frente, así como los momentos límite de servicio de acuerdo con el ambiente en que vaya a estar situado el forjado. Posteriormente, cuando se decida el modelo comercial, deberá verificarse el cumplimiento del resto de las condiciones;
- 2) Se conoce el modelo comercial que se va a utilizar en la obra. En este caso es posible definir totalmente el forjado, armaduras de negativos, macizados, etc. Para esta definición es muy útil disponer de las fichas técnicas de las prestaciones mecánicas en cuestión. Este es el caso a que nos referiremos, ya que siempre habrá que aplicarlo antes del comienzo de cada obra.

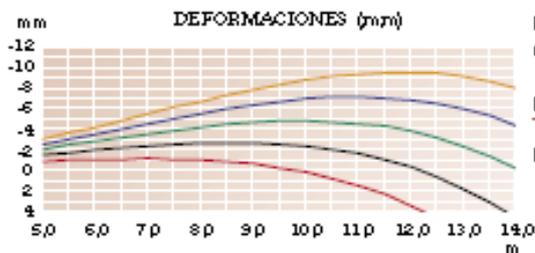


**DATOS TÉCNICOS**

Las dimensiones de la placa son:

Anchura	120 cm
Altura	35 cm
Longitud	0 - 14,00 m
Longitud mínima apoyo	1,5 m
Peso placa alveolar	5,28 KN/ml / 4,28 KN/m <sup>2</sup>
Peso placa juntas llenas	4,90 KN/m <sup>2</sup>
Resistencia al fuego	REI 120
Aislamiento acústico Rw	58,9 dB

Para determinar la carga de servicio ya se ha considerado el peso propio de la placa.



Las deformaciones de la placa alveolar han sido calculadas a los 28 días, tan solo con su peso propio.

Rigidez de la placa 137980 m<sup>2</sup>KN

El signo negativo indica contra flecha.

Figura.- Ejemplo de placa alveolar de 35 cm de canto

### 3.5. Las fichas de características técnicas

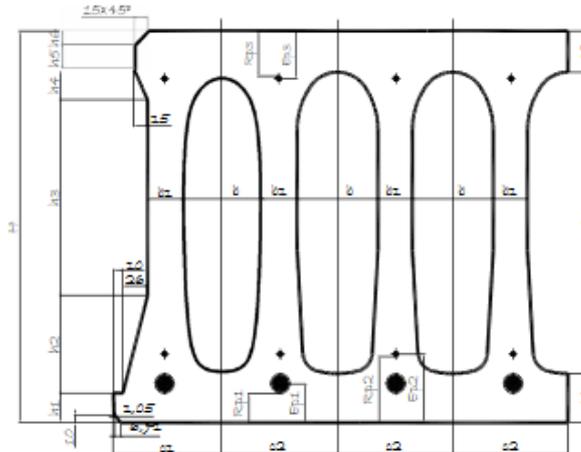
El cálculo exhaustivo de un forjado exige conocer los valores de una serie de características técnicas, tanto de la placa alveolar como del forjado que ayudará a conformar. La determinación de dichos valores no resulta sencillo y depende de datos del proceso de producción del propio fabricante, según la geometría de la placa, tipo de armadura, tipo de hormigón, tandas de armados, etc.

Las empresas fabricantes de placas alveolares u otros elementos prefabricados de hormigón para forjados, suelen proporcionar una información muy útil en las denominadas “Fichas de Características Técnicas”. Esta información es fundamental para las oficinas técnicas de proyectos, pues pueden comprobar la adecuación de los sistemas a las exigencias funcionales del forjado.

Cada una de estas fichas se refiere a un modelo de placa alveolar determinado que se caracteriza por su canto y armado. Manteniendo constante la geometría y variando la cuantía y/o la posición de las armaduras activas, e incluso la fuerza de pretensado, se definen los diversos tipos. Además, las fichas pueden incluir otros valores adicionales, como parámetros acústicos, características térmicas, resistencia al fuego, etc.

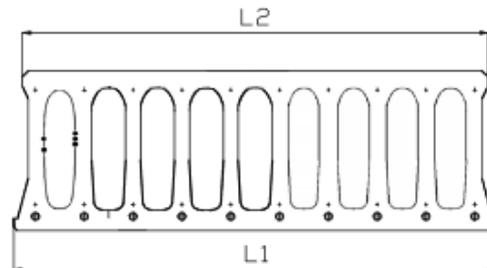
La primera hoja de la ficha técnica presenta un dibujo esquemático de la placa, o de media placa (es simétrica). Se definen todas las cotas necesarias: sección general, recubrimientos de las armaduras, espesor de almas y alas, geometría de la junta y el peso por unidad de superficie.

1. LOSA (cotas en mm)



Dimensión (mm)	Pos. Eje arm. (mm)
L1.....1197	Ep3.....48,50
L2.....1153	Ep2.....70
H.....400	Ep1.....40

Recub mínimo (mm)		Peso Losa
a.....308	h5.....25	5,05 KN/m2
a1.....50	h6.....15	
a2.....42	b.....85	
h1.....30	b1.....38	
h2.....100	c1.....114	
h3.....200	c2.....121	
h4.....30		



A continuación, se recogen las características de los materiales empleados en el elemento prefabricado y los coeficientes de seguridad que serán empleados para la realización de los cálculos.

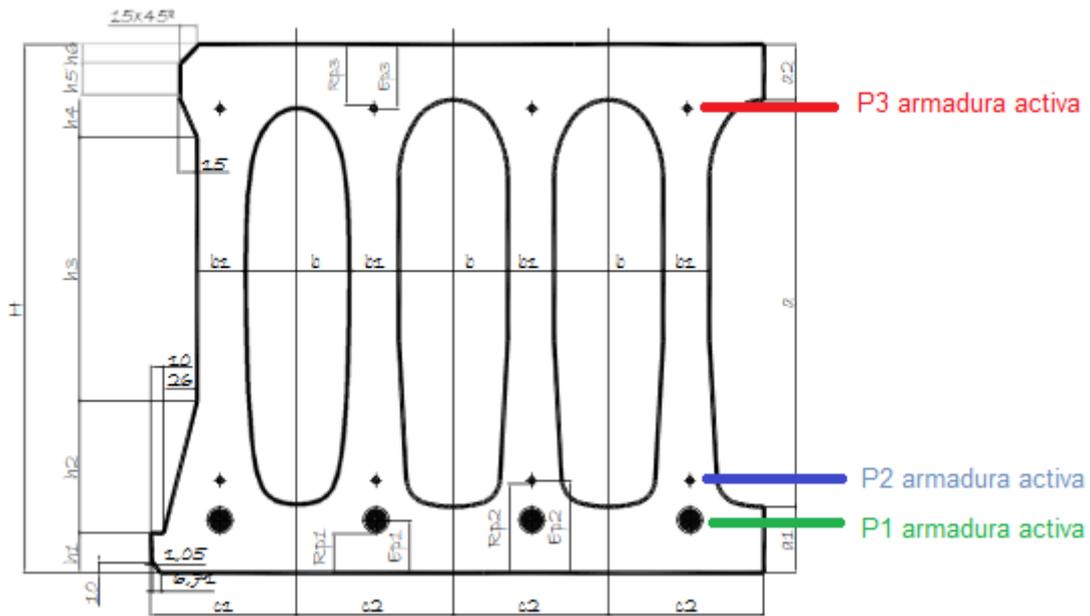
2. MATERIALES DEL ELEMENTO PREFABRICADO			
Hormigón de la losa :	HP-40/S/12/IIb	Resistencia a compresión de proyecto $f_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	Coef. de seguridad = 1,50
Dosificación del hormigón	> 350 Kg/m3/ cemento tipo CEM I 52,5R / relación agua cemento máxima 0,55 / 1,25 l/m3 de aditivo plastificante		
Acero de pretensar	Y 1860 C	Límite elástico $f_k = 1600 \text{ N/mm}^2$ Alargamiento de rotura 3,5 %	Coef. de seguridad = 1,15
	Y 1860 S7	Límite elástico $f_k = 1640 \text{ N/mm}^2$ Alargamiento de rotura 3,5 %	Coef. de seguridad = 1,15
NOTA : Tipificación de materiales empleados, según EHE			

La Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 anteriormente, y a partir de ahora el Código Estructural, permiten que el fabricante pueda certificar su proceso productivo con un distintivo de calidad oficialmente reconocido, como valor añadido al mercado CE obligatorio. Esto implica el cumplimiento de una serie de requisitos adicionales que superan las exigencias básicas (mayor control del hormigón, de las armaduras, tolerancias dimensionales más estrictas, intensificación del control de las instalaciones, etc.) A cambio, el fabricante de elementos prefabricados de hormigón puede beneficiarse de varias ventajas:

- Coeficiente de minoración del hormigón: reducción de un valor de 1,50 a 1,35 obteniéndose así resistencias de cálculo superiores de un 11%;
- Coeficiente de minoración del acero: reducción de un valor de 1,15 a 1,10 obteniéndose así un aumento en el límite elástico del 4,5%;
- Fuerza de tesado: permite un incremento de un 5% de la tensión máxima a aplicar, que implica conseguir la misma tensión con un 7% aprox. menos de armadura.

A continuación, se describen las armaduras activas (pretesas) utilizadas:

<b>3. ARMADO DEL ELEMENTO PREFABRICADO</b>									
TIPO DE LOSA		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8
<b>SITUACIÓN DE LAS ARMADURAS</b>	P3	4 Ø 5	6 Ø 5	6 Ø 5	8 Ø 5	10 Ø 5	2 Ø 3/8" + 8 Ø 5	4 Ø 3/8" + 6 Ø 5	4 Ø 3/8" + 6 Ø 5
	P2	-----	-----	-----	-----	-----	4 Ø 5	6 Ø 5	6 Ø 5
	P1	2 Ø 3/8" + 8 Ø 5	2 Ø 1/2" + 8 Ø 5	8 Ø 3/8" + 2 Ø 5	4 Ø 1/2" + 6 Ø 5	6 Ø 1/2" + 4 Ø 5	4 Ø 3/8" + 6 Ø 1/2"	2 Ø 3/8" + 8 Ø 1/2"	10 Ø 1/2"



Para este modelo de placa alveolar pretensada de 40 cm de canto, la empresa fabrica y comercializa ocho tipos distintos de elementos en función de la distribución y sección de las armaduras activas, dispuestas a tres alturas (dos líneas inferiores y una superior).

Se indica a continuación la tensión inicial de tesado de las armaduras y las pérdidas estimadas totales:

TIPO DE LOSA		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8
TENSIÓN INICIAL (N/mm <sup>2</sup> )	Cordones	1360							
	Alambres	1360							
(% PÉRDIDAS TOTALES A PLAZO INFINITO)	P3	13,80	14,30	14,60	15,00	16,00	17,60	18,80	19,70
	P2	-----	-----	-----	-----	-----	20,90	22,50	23,80
	P1	15,00	15,80	16,70	17,30	19,00	21,30	22,90	24,30
	c.d.g.	14,70	15,40	16,30	16,70	18,30	20,40	21,80	23,20

La ficha debe contener las condiciones resistentes de la placa alveolar aislada al ser colocada en la obra, para determinar qué longitud podrá alcanzar sin sopandas (soportes horizontales provisionales sostenidos por los puntales verticales), bajo la acción de su peso propio más el peso de la capa de compresión “in situ” (si se coloca) y más la sobrecarga de ejecución.

4. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ELEMENTO PREFABRICADO AISLADO (1)															
TIPO DE LOSA	Módulo Resistente (cm <sup>3</sup> / m)		P.e (N.m) (°)	Tensión inicial debida al pretensado (*) (N/mm <sup>2</sup> )		Momentos sollicitación máximos durante ejecución (m.KN/m)		Momentos últimos a flexión positiva y negativa (m.KN/m)		Momentos en servicio a flexión positiva (m.KN/m)				Vu (KN/m)	
	Inf.	Sup.		$\sigma_{inf}$	$\sigma_{sup}$	M <sub>1</sub> (vano)	M <sub>2</sub> (sopanda)	Mu1	Mu2	Mo	Mo'	Mf	Mo,2	Entrega (mm)	
														50 mm	100 mm
1	19965	19069	35220	-3,30	-0,20	52,70	-56,44	104,34	-37,12	57,50	65,00	118,33	145,00	167	174
2	20067	19127	46200	-4,50	-0,30	72,24	-58,14	141,94	-53,69	77,92	88,33	140,00	172,20	181	190
3	20163	19149	65140	-5,80	+0,05	93,55	-52,85	179,19	-55,15	100,61	114,00	164,15	201,65	190	201
4	20232	19200	69680	-6,50	-0,30	105,20	-58,36	203,64	-70,85	113,02	128,20	177,50	219,15	200	212
5	20397	19272	93210	-8,50	-0,30	138,69	-58,58	264,84	-87,65	147,15	167,50	213,30	264,50	217	232
6	20592	19367	118130	-10,90	-0,60	179,56	-63,52	341,14	-116,50	187,10	213,30	256,55	320,00	243	261
7	20727	19452	130470	-12,40	-1,00	205,61	-70,02	391,38	-143,00	210,80	241,65	282,50	355,75	260	280
8	20821	19473	149090	-13,70	-0,70	228,19	-65,42	427,21	-143,79	230,00	262,50	302,50	380,00	267	288

\* En el instante de la transferencia del pretensado (Signo negativo: tensiones de compresión).

En general, la rigidez de la placa alveolar es autorresistente y no necesita apoyarse en sopandas, tanto si se coloca adicionalmente la capa de compresión (lo más habitual) como si no. No obstante, deberá comprobarse esta situación llamada de ejecución.

Desde los años 90, la irrupción en el mercado de cantidad ingente de fabricantes que no han logrado conseguir terminaciones adecuadas en las caras superiores y de control en las contraflechas de las placas, influyeron en que el uso de la capa de compresión fuera extensivo para cualquier diseño de forjado con placas, transformando una aplicación en una necesidad.

De los valores que proporciona la ficha y que serán necesarios de cara al cálculo del forjado, debemos destacar los siguientes:

- Momentos últimos a flexión positiva y negativa: la ficha de características técnicas debe recoger el valor del momento último de la placa alveolar en sección simple en el caso de flexión negativa (tracciones en la fibra superior), con objeto de poder comprobar las secciones apoyadas sobre las

sopandas, en los casos en que excepcionalmente se dispongan. En cuanto al momento último a flexión positiva, se refiere a la mayor tracción que se produce en la fibra inferior de la sección resistente y la mayor compresión en su fibra superior;

- Momentos en servicio a flexión positiva, a fin de cumplir con las exigencias de máxima abertura de fisura en función del ambiente de exposición del forjado:
  - $M_0$  = Momento de descompresión de la fibra inferior de la sección, es decir, el máximo valor de momento flector a partir del cual aparecerán tracciones en la sección.
  - $M_{0'}$  = Momento que podrá soportar la sección del forjado para que se produzca una tensión nula en la fibra de la sección situada a la profundidad de la armadura inferior.
  - $M_{fis}$  = Momento que podrá soportar la sección del forjado para que se produzca la primera fisura. Coincide con el momento en que la tensión de la fibra inferior es igual a la resistencia media a tracción del hormigón ( $f_{ct,m}$ )
  - $M_{0,2}$  = Momento que podrá soportar la sección del forjado para que se produzca una abertura de fisura de anchura de hasta 0,2 mm en la fibra inferior, siendo este valor de 0,2 mm la abertura de fisura máxima permitida para las clases de exposición ambiental más habituales.
  
- Cortante último: el valor del esfuerzo cortante último resistente del forjado ( $V_u$ ) depende de la armadura pretensada, de las compresiones producidas en la placa alveolar por dicha armadura activa, de que dichas compresiones eviten la fisuración de la placa y de la resistencia a compresión/tracción del hormigón de la placa alveolar.

A continuación, se detallan las características mecánicas de los diferentes tipos de forjados:

<b>5. FORJADO</b>	H + C	(mm)	Peso (KN/m <sup>2</sup> )
	400 + 0	400	5,05
	400 + 50	450	6,30
	400 + 100	500	7,55
	400 + 150	550	8,80
	H + C	Volumen (l/m <sup>2</sup> )	
	400 + 0	22,72	
	400 + 50	72,72	
	400 + 100	122,72	
	400 + 150	172,72	

Para este caso, losa de 40 cm de canto, se contemplan tres posibles combinaciones con capa de compresión in situ: 5 cm, 10 cm y 15 cm de espesor, por lo que habrá que aportar además las características del hormigón y del acero a colocar en obra.

<b>6. MATERIALES DE OBRA</b>			
<b>Hormigón vertido en obra :</b>			
	HA-25/B/20/IIa	Resistencia a compresión de proyecto $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$	Coef. de seguridad $\gamma_c = 1,50$
	HA-30/B/20/IIb	Resistencia a compresión de proyecto $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$	Coef. de seguridad $\gamma_c = 1,50$
<b>Mallazo</b>	B-500 S	Límite elástico $f_k = 500 \text{ N/mm}^2$ M. Elasticidad $E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2$	Coef. de seguridad = 1,15
<b>Acero armadura superior</b>	B- 500S	Límite elástico $f_k = 500 \text{ N/mm}^2$ M. Elasticidad $E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2$	Coef. de seguridad = 1,15

La ficha debe proporcionar las características mecánicas de los diferentes tipos de forjados definidos en la ficha, indicando los momentos flectores último ( $M_u$ ) tanto a flexión positiva como a flexión negativa, y de servicio ( $M_0 - M_{0'} - M_{fis} - M_{0''}$ ) según las diferentes clases de exposición ambientales, las rigideces bruta ( $E_{ib}$ ) y fisurada ( $E_{if}$ ) y el cortante último ( $V_u$ ).

TIPO DE FORJADO	TIPO DE LOSA	FLEXIÓN POSITIVA (1)																
		Módulo resistente $W_{inf}$ (cm <sup>3</sup> /m)	$M_u$ (m-KN/m)	$\beta^{(*)}$	Rigidez (m <sup>2</sup> MN/m)		M Límite servicio (3) (m-KN/m)				V <sub>u2</sub> (KN/m) (2)						$\xi$ (%)	Rasante (KN/m)
					Bruta E·I <sub>b</sub>	Fisurada E·I <sub>r</sub>	M <sub>0</sub>	M <sub>0</sub> '	M <sub>f</sub>	M <sub>0,2</sub>	Md>Mfis,d		Md<Mfis,d					
											Mfis,d (m.KN/m)	Vu2	Long. entrega (mm)					
													X1=50 mm	X2=100 mm	Va*	Vu2*		
(40+5) x 120	40-1	24138	121,98	1,43	172,07	6,30	69,37	75,83	142,50	174,16	115,8	126	225	203	276	210	1,14	380
	40-2	24250	166,04	1,43	172,07	8,35	94,16	103,33	169,16	207,50	137,5	140	362	217	446	227	1,14	380
	40-3	24358	207,90	1,43	172,07	10,45	120,00	131,80	198,85	240,00	158,8	150	380	227	470	239	1,14	380
	40-4	24433	236,93	1,43	172,07	11,67	135,83	149,16	214,15	262,50	174,1	161	490	237	605	250	1,14	380
	40-5	24625	307,03	1,43	172,07	14,87	178,85	193,30	257,50	315,80	209,3	181	549	256	682	271	1,14	380
	40-6	24850	394,92	1,43	172,07	17,13	225,00	247,50	309,15	380,83	251,3	209	621	282	769	300	1,14	380
	40-7	24991	453,19	1,43	172,07	18,80	255,83	280,83	341,85	424,10	277,7	230	730	299	903	319	1,14	380
	40-8	25108	493,03	1,43	172,07	20,64	278,85	304,15	364,15	451,82	298,0	240	838	307	1037	328	1,14	380

TIPO DE FORJADO	TIPO DE LOSA	FLEXIÓN POSITIVA (1)																
		Módulo resistente $W_{inf}$ (cm <sup>3</sup> /m)	$M_u$ (m-KN/m)	$\beta^{(*)}$	Rigidez (m <sup>2</sup> MN/m)		M Límite servicio (3) (m-KN/m)				V <sub>u2</sub> (KN/m) (2)						$\xi$ (%)	Rasante (KN/m)
					Bruta E·I <sub>b</sub>	Fisurada E·I <sub>r</sub>	M <sub>0</sub>	M <sub>0</sub> '	M <sub>f</sub>	M <sub>0,2</sub>	Md>Mfis,d		Md<Mfis,d					
											Mfis,d (m.KN/m)	Vu2	Long. entrega (mm)					
													X1=50 mm	X2=100 mm	Va*	Vu2*		
(40+10) x 120	40-1	28483	140,55	1,92	237,50	8,00	80,32	85,80	166,64	202,50	135,4	138	250	225	303	233	1,25	407
	40-2	28616	192,13	1,92	237,50	10,61	109,15	117,50	198,29	241,85	161,2	154	335	241	408	251	1,25	407
	40-3	28741	239,37	1,92	237,50	13,28	138,34	148,30	229,10	277,50	188,2	165	424	252	516	263	1,25	407
	40-4	28825	274,04	1,92	237,50	14,84	157,50	169,17	249,15	303,32	202,5	177	549	263	669	275	1,25	407
	40-5	29041	355,02	1,92	237,50	18,88	204,18	219,20	300,00	385,00	243,9	200	615	283	761	298	1,25	407
	40-6	29291	457,79	1,92	237,50	21,74	260,83	280,00	359,14	440,00	261,9	231	703	311	858	328	1,25	407
	40-7	29458	526,73	1,92	237,50	23,84	298,67	319,15	398,30	490,00	323,8	254	831	329	1015	349	1,25	407
	40-8	29591	571,69	1,92	237,50	26,17	320,83	345,00	423,33	520,80	344,1	265	961	337	1176	358	1,25	407
(40+15) x 120	40-1	33175	159,26	2,50	301,52	9,92	90,82	95,81	191,60	231,50	155,7	150	276	250	330	257	1,35	426
	40-2	33316	218,16	2,50	301,52	13,18	124,17	161,65	227,50	275,80	184,9	167	371	267	445	276	1,35	426
	40-3	33466	270,72	2,50	301,52	16,49	158,67	185,00	261,67	315,82	212,7	180	469	279	563	289	1,35	426
	40-4	33558	310,75	2,50	301,52	18,44	178,31	189,15	285,00	345,80	231,7	193	608	290	731	302	1,35	426
	40-5	33800	402,56	2,50	301,52	23,49	231,55	245,00	341,64	414,08	277,7	218	690	312	830	326	1,35	426
	40-6	34083	519,75	2,50	301,52	27,08	295,80	313,11	410,00	499,05	333,3	253	780	341	940	359	1,35	426
	40-7	34266	599,28	2,50	301,52	29,71	337,50	367,50	454,14	555,80	369,2	279	924	360	1115	380	1,35	426
	40-8	34417	649,43	2,50	301,52	32,62	383,30	385,00	482,50	590,00	392,2	291	1070	369	1293	390	1,35	426

**FORJADOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN**

TIPO DE FORJADO	TIPO DE LOSA	FLEXIÓN NEGATIVA (1)							
		Armadura Pasiva (B-500 S)	M <sub>u</sub> (m-KN/m)	Rigidez Fisurada (m <sup>2</sup> MN/m)	$\frac{W^{sup,forj}}{W^{sup,loza}}$	Mf' (m.KN/m) (2)	M límite servicio clase exposición III Mo'' (3) (m.KN/m)		
								Vu (KN/m) (4)	Rasante(KN/m)
<b>(40+5) x 120</b>	TODOS (Considerando una armadura activa de 4 Ø 5 mínima común en todos los tipos de losa)	4 Ø 10	-91,68	9,02	1,24	-100,50	-24,75	101,68	380
		6 Ø 10	-114,69	13,25	1,24	-101,16	-24,75	101,68	380
		4 Ø 12	-111,91	12,75	1,24	-101,10	-24,75	101,68	380
		6 Ø 12	-144,90	18,65	1,24	-101,92	-24,75	101,68	380
		4 Ø 16	-163,09	21,85	1,24	-102,33	-24,75	101,68	380
		6 Ø 16	-221,31	31,75	1,24	-103,81	-24,75	101,68	380
		4 Ø 20	-228,58	32,95	1,24	-104,00	-24,75	101,68	380
		6 Ø 20	-319,05	47,40	1,24	-106,26	-24,75	109,92	380

TIPO DE FORJADO	TIPO DE LOSA	FLEXIÓN NEGATIVA (1)							
		Armadura Pasiva (B-500 S)	M <sub>u</sub> (m-KN/m)	Rigidez Fisurada (m <sup>2</sup> MN/m)	$\frac{W^{sup,forj}}{W^{sup,loza}}$	Mf' (m.KN/m) (2)	M límite servicio clase exposición III Mo'' (3) (m.KN/m)		
								Vu (KN/m) (4)	Rasante (KN/m)
<b>(40+10) x 120</b>	TODOS (Considerando una armadura activa de 4 Ø 5 mínima común en todos los tipos de losa)	4 Ø 10	-97,18	11,31	1,50	-116,03	-21,99	107,95	407
		6 Ø 10	-122,91	16,65	1,50	-116,65	-21,99	107,95	407
		4 Ø 12	-119,83	16,01	1,50	-116,58	-21,99	107,95	407
		6 Ø 12	-156,76	23,47	1,50	-117,48	-21,99	107,95	407
		4 Ø 16	-177,24	27,50	1,50	-117,98	-21,99	107,95	407
		6 Ø 16	-242,59	40,00	1,50	-119,58	-21,99	107,95	407
		4 Ø 20	-250,74	41,52	1,50	-119,78	-21,99	107,95	407
		6 Ø 20	-352,25	59,80	1,50	-122,27	-21,99	114,18	407

TIPO DE FORJADO	TIPO DE LOSA	FLEXIÓN NEGATIVA (1)							
		Armadura Pasiva (B-500 S)	M <sub>u</sub> (m-KN/m)	Rigidez Fisurada (m <sup>2</sup> MN/m)	$\frac{W^{sup,forj}}{W^{sup,loza}}$	Mf' (m.KN/m) (2)	M límite servicio clase exposición III Mo'' (3) (m.KN/m)		
								Vu (KN/m) (4)	Rasante (KN/m)
<b>(40+15) x 120</b>	TODOS (Considerando una armadura activa de 4 Ø 5 mínima común en todos los tipos de losa)	4 Ø 10	-102,63	13,89	1,70	-131,92	-20,40	114,34	426
		6 Ø 10	-131,14	20,45	1,70	-132,60	-20,40	114,34	426
		4 Ø 12	-127,71	19,63	1,70	-132,52	-20,40	114,34	426
		6 Ø 12	-168,65	28,85	1,70	-133,51	-20,40	114,34	426
		4 Ø 16	-191,37	33,84	1,70	-134,06	-20,40	114,34	426
		6 Ø 16	-263,83	49,24	1,70	-135,81	-20,40	114,34	426
		4 Ø 20	-272,83	51,10	1,70	-136,02	-20,40	114,34	426
		6 Ø 20	-385,40	73,67	1,70	-138,76	-20,40	118,48	426

Para la sección compuesta (elemento prefabricado + losa de compresión in situ), se destacan los siguientes parámetros:

- En esta situación el momento flector último resistente del forjado depende de la armadura pretensada contenida en la placa alveolar, del canto, de la resistencia a compresión del hormigón de la propia placa alveolar, y del que forma la capa de compresión, así como de la armadura pasiva dispuesta en dicha capa para actuar como armadura traccionada;
- Cortante último: en flexión positiva, diferencia el valor relativo a las regiones no fisuradas ( $M_d < M_{fis,d}$ ) que se utiliza para evaluar la capacidad a cortante de secciones pretensadas aisladas sin la capa de compresión, del aplicable en regiones fisuradas ( $M_d > M_{fis,d}$ ) para el caso de que la placa alveolar se disponga en continuidad;
- Rasante: se denomina esfuerzo de rasante a aquel que tenderá a separar de la placa, la capa de compresión vertida in situ, por lo que la mayor resistencia a rasante dependerá fundamentalmente de la mayor imbricación entre ambos hormigones. En general, las placas alveolares presentan superficies superiores de acabado excesivamente lisas; no obstante, el esfuerzo de rasante no suele ser limitativo en los casos de forjados de placas, excepto en su aplicación en solucionar importantes cargas y luces, como pudieran ser las de tableros para tráfico pesado, uso también desaconsejable por la ausencia de estribos en la fabricación de las losas, que resultarían débiles frente a esfuerzos de fatiga por la constante iteración de estados de carga-descarga. Existen sistemas de fabricación específicos, sobre en todo en las placas de cantos mayores de 50 cm, que sí permiten la colocación de estribos y de conexiones con las capas de compresión;
- Además, en flexión negativa se aporta la relación  $w_{sup,for} / w_{sup,losa}$  para tener en cuenta el proceso constructivo en que la losa debe soportar inicialmente por sí sola su propio peso para finalmente soportar el resto de acciones con la colaboración de la capa de compresión.

### 3.6. Cálculo estructural

#### 3.6.1. Decisiones previas

##### 3.6.1.1. Continuidad

En un forjado de placas alveolares, la rigidez y la capacidad para resistir momentos positivos son tan grandes, que rara vez es necesario recurrir al cálculo en continuidad, evitándose así la necesidad de armadura in situ, con lo que la construcción se simplifica, agiliza y abarata. No obstante, en el caso de forjados de crujeas isostáticas, si se prevé la disposición de capas de compresión, convendrá colocar en los apoyos de una armadura a negativos de cuantía mínima que pueda equilibrar el libre giro en los apoyos o posibles coacciones en el mismo. En general, se suele colocar una cuantía de armadura, correspondiente a cubrir un momento negativo equivalente a  $\frac{1}{4}$  del momento positivo en vano.

Se dará continuidad cuando exista limitación en el canto del forjado, o alguna otra razón imponga la necesidad de reducir las flechas o los momentos flectores positivos, como por ejemplo, cuando sea necesario elevar la resistencia al fuego por encima de los valores propios de la placa alveolar.



##### 3.6.1.2. La capa de compresión

La capa de compresión permite aumentar los valores de resistencia y rigidez del forjado, respecto a los que tendría sin ella. Por contra, se aumenta el peso propio y se pierde sencillez constructiva y rapidez. La capa de compresión exige además la colocación de armadura de reparto y en su caso de armaduras a negativo.

Cuando no se vierte capa de hormigón “in situ”, el forjado va quedando terminado a medida que se colocan las placas, sin más trabajo adicional que el relleno de las juntas y el tiempo necesario para el endurecimiento del mismo, que deberá alcanzar la resistencia especificada. Debe elegirse entre colocar una placa alveolar de la resistencia adecuada en sección simple, o suplementar la resistencia de otra de menor canto o menor armadura de pretensado, mediante la ejecución de la capa de compresión con hormigón “in situ”, de modo que su resistencia en sección compuesta iguale a la de la solución anterior.

Con la finalidad de que el hormigonado de las juntas pueda conseguir el efecto de traba entre las distintas placas, dispuestas sin capa de compresión, su diseño deberá ser geométricamente eficaz, como el de forma en cola de milano, y su abertura superior suficiente como para permitir rellenarla adecuadamente con el hormigón y permitir su compactado.

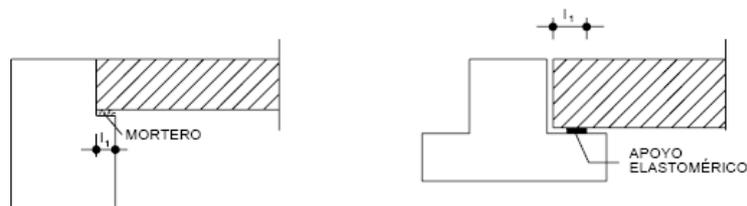
Además, la capa de compresión puede ser conveniente cuando:

- Deba disponerse armadura de negativos por continuidad entre tramos y quiera evitarse la abertura de los alveolos de la placa alveolar;
- Sea necesaria una armadura superior transversal a las placas, por existir vuelos laterales u otra causa;
- Se prevean cargas puntuales de gran importancia;
- Uso de aparcamiento o similar, que aconseje repartir entre las placas las cargas móviles y los esfuerzos de frenado;
- Deban emplearse placas más ligeras que las necesarias para trabajar en sección simple, por carecer de adecuados medios de elevación, y se resuelva el forjado considerando la solución del mismo en sección compuesta;
- Sea necesaria una armadura superior longitudinal a las placas, por existir voladizos;
- Cuando la optimización del coste global del forjado de placa alveolar, para conseguir la resistencia, la rigidez y el monolitismo del conjunto estructural requerido, aconseje la disposición de la capa de compresión, como elemento estructural de coste mínimo para cumplir con todos los requisitos.

### 3.6.1.3. Enlaces y apoyos

No hay que olvidarse de que el forjado forma parte de la estructura principal del edificio y debe conectarse con el resto de los elementos estructurales (pilares, vigas y jácenas, muros, etc.) a los cuales transferir los esfuerzos. Se distinguen dos tipos de apoyos básicos:

- Apoyos directos: se refiere a cuando los nervios del forjado quedan enlazados a la cadena de atado de un muro o a una viga de canto netamente superior, de forma que el forjado encuentra un apoyo inferior sobre el que asentarse;



*Figura.- Apoyos directos de losas alveolares. 1) Sobre capa de mortero de hormigón fresco; 2) Sobre un apoyo elástico (ej. banda de neopreno)*

- Apoyos indirectos: cuando los nervios del forjado son recibidos en una viga plana, brochal, etc. del mismo canto del forjado.

Existen varias técnicas de enlace de los nervios a un apoyo:

- Por entrega: es el caso de las viguetas cuando penetran directamente una cierta longitud en el elemento de apoyo;
- Por introducción de la armadura saliente: de forma que penetra en la pieza de apoyo parte de la armadura interior de las viguetas que sobresale de ellas;
- Por solape entre barras.

A mayor grado de prefabricación, los apoyos suelen ser más fiables ya que su ejecución es más sencilla y no quedan condicionados al buen hacer de los operarios.

Asociación para la Investigación y Desarrollo de Placas Alveolares



CATÁLOGO DE DETALLES  
CONSTRUCTIVOS DE ALVEOPLACAS  
UTILIZADAS EN FORJADOS

EDICIÓN: DICIEMBRE 2012

“Catálogo de detalles constructivos de alveoplacas utilizadas en forjados” de AIDEPLA que presenta una colección de aprox. 50 soluciones de encuentros de los forjados de placas alveolares, con las diversas tipologías de uniones que pueden

presentar las estructuras portantes donde se sustentan [\[+\]](#)

### 3.6.2. Elección del canto de forjado

El canto mínimo que debe darse al forjado para una luz determinada depende de la clase de forjado, de las condiciones de apoyo y de los elementos susceptibles de sufrir daños que se apoyen sobre él.

La deformación del forjado aumentará a medida que sus extremos se liberen de coacciones. Así será menos deformable un tramo interior de un forjado continuo que otro exterior, y éste menos que si el tramo está simplemente apoyado en ambos extremos o se encuentra en voladizo.

Por otra parte, las exigencias de rigidez serán mayores si el forjado soporta muros que si soporta tabiques, y menores si se trata de un forjado de cubierta.

El canto debe elegirse también de manera que se alcance la adecuada resistencia. Una determinada resistencia puede obtenerse con diferentes cantos variando la armadura de la placa alveolar, pero es preferible elegir un canto medio adecuado, que proporcione la rigidez necesaria para cumplir las condiciones de flecha máxima admisible, dejando la variación de la armadura para ajustar la placa alveolar al estado tensional admisible en servicio y a la seguridad en rotura requerida en estado límite último.

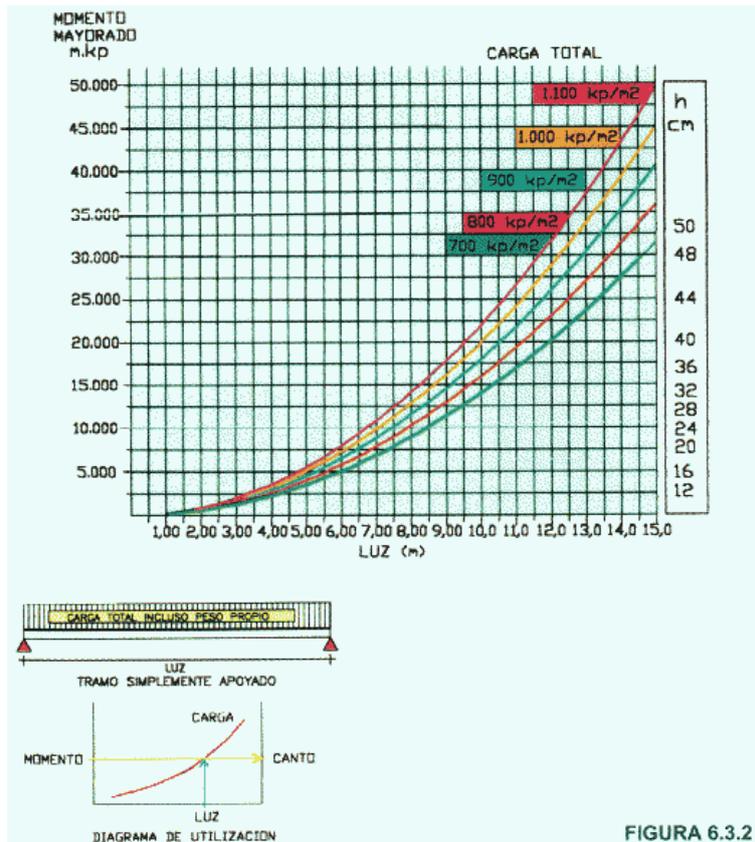


Figura.- Gráfico de curvas que representan cinco valores de carga total, cuyas abscisas son las luces de un tramo aislado y conducen a seleccionar un canto de placa alveolar ( $1 \text{ kN/m}^2 \approx 100 \text{ kp/m}^2$ )

Cuando se decida no poner capa de compresión, se busca la placa que tenga un canto igual al señalado en la gráfica para las condiciones existentes, o el superior más próximo. En caso de que haya que colocar capa de compresión, se estudian las combinaciones de placa alveolar más capa de compresión que cubran el canto deseado. Naturalmente, puede estudiarse la posibilidad de un canto menor, debiendo entonces realizarse la correspondiente comprobación de flecha.

### 3.6.3. Acciones

Nuevamente nos referimos a una estructura evolutiva, en la que debemos diferenciar dos etapas fundamentales: [losa aislada](#) y [forjado terminado](#).

Cuando un forjado se monta sin ayuda de sopandas, como es el caso habitual de los forjados de placas alveolares, antes de que el hormigón fragüe (caso de que se coloque la capa de compresión) los elementos prefabricados aislados flectarán como

simplemente apoyados bajo su peso propio y la sobrecarga de ejecución. Posteriormente, cuando el hormigón haya endurecido, el forjado trabajará formando la sección compuesta y bajo la totalidad de las cargas previstas menos las ya aplicadas.

A continuación, deben determinarse las acciones, que se desglosan así:

- Cargas permanentes
  - Peso propio placa alveolar:

Canto (cm)	16	20	25	30	35	40	45	50	63
Peso (kN/m <sup>2</sup> )	2,6	3,1	3,75	4,4	5,05	5,9	6,58	7,25	8,58

Tabla.- Valores aproximados de peso propio de las placas incluyendo el macizado de las juntas

- Hormigón in situ y armaduras (si se coloca capa de compresión)

Canto (cm)	5	8	10	15	20
Peso (kN/m <sup>2</sup> )	1,2	1,9	2,4	3,6	4,8

Tabla.- Valores aproximados de peso propio de la capa de compresión

- Carga permanente adicional: muros y paredes, formación de cubiertas (aprox. entre 1 y 3 kN/m<sup>2</sup>), aislamientos, solados y pavimentos (aprox. entre 0,5 y 1 kN/m<sup>2</sup>), revestimientos (aprox. entre 0,15 y 0,2 kN/m<sup>2</sup>), instalaciones y maquinarias fijas, falsos techos, etc.
  - Sobrecarga de ejecución: se suele tener en cuenta un valor de 1 kN/m<sup>2</sup>. Tiene en cuenta las posibles cargas procedentes de los forjados superiores apuntalados sobre el considerado, así como el material de obra almacenado sobre el mismo.
- Cargas variables: depende del uso previsto del edificio, y podrá ser distribuida de forma uniforme o concentrada en determinados puntos.

Otras acciones no gravitatorias pueden afectar al forjado: empujes, viento, sismo, etc.

Debe prestarse atención a las cargas derivadas del proceso de ejecución del edificio, en particular las procedentes del apuntalamiento y desapuntalamiento de las plantas superiores que, en ocasiones, pueden producir sobre el forjado la hipótesis de carga

más desfavorable. Sin embargo, esto no suele afectar a los forjados de placas alveolares, puesto que en general no precisan sopandas.

#### **3.6.4. Cálculo de las solicitaciones**

Si se decide prescindir de la continuidad entre distintos tramos o vanos, de forma que las placas alveolares trabajen de forma aislada, el cálculo se simplificará bastante ya que se analizará cada vano de forma independiente.

Cuando se hace necesario calcular en continuidad, a fin de reducir los momentos flectores positivos a costa de aumentar los negativos, y/o para reducir las flechas, el cálculo de solicitaciones para estados límites últimos, puede hacerse por diversos métodos.

#### **3.6.5. Comprobación de los estados límite último**

##### **3.6.5.1. E.L.U. de flexión**

Los diferentes modelos de placas permiten ajustar el elemento a las condiciones requeridas a fin de obtener soluciones óptimas. Además, variando el canto de la capa de compresión ejecutada “in situ” sobre cada uno de los tipos de la placa alveolar, se obtienen los diferentes tipos de forjado que se pueden construir a partir de la citada placa alveolar.

Los valores de flexión (positiva y negativa) producidos por la acción de la totalidad de cargas actuantes en el forjado (peso propio del forjado, cargas permanentes, sobrecargas de uso) y debidamente ponderadas por sus correspondientes coeficientes de mayoración ( $M_d$ ), deberán ser igual o menores que los Últimos positivos (producidos en el vano) o negativos (producidos en los apoyos o en los voladizos), reflejados en la ficha de características técnicas del forjado de placas elegido.

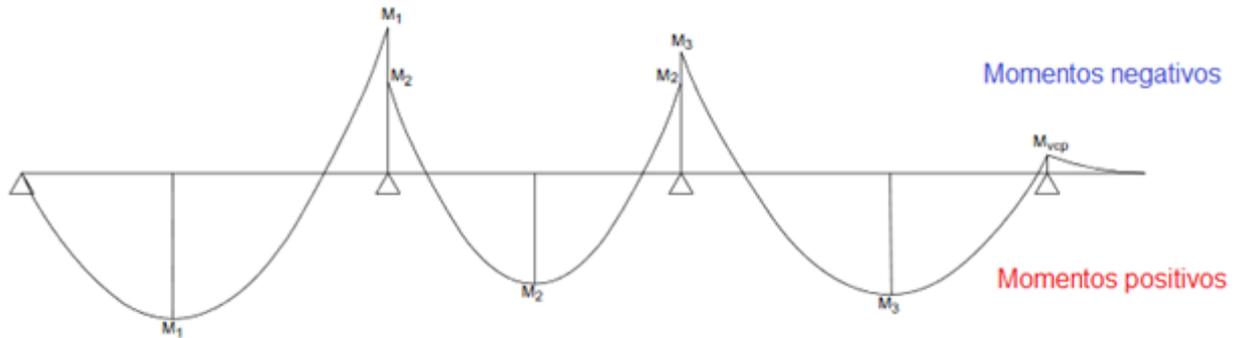


Figura.- Representación gráfica de la flexión en una estructura horizontal de tres vanos con voladizo en un extremo, con una carga uniformemente distribuida. Estas gráficas suelen ser proporcionadas por los softwares de cálculo

Deberá comprobarse que:

- Flexión positiva:  $\gamma \cdot M_{1,2,3} = M_{d+} \leq M^+_{\text{último}}$ , con  $\gamma \approx 1,5$
- Flexión negativa:  $\gamma \cdot M_{1,2,3} = M_{d-} \leq M^-_{\text{último}}$ , con  $\gamma \approx 1,5$

Con este valor resultante se irá a la ficha de características técnicas y se seleccionará el modelo que satisfaga la ecuación, tanto a flexión positiva como a negativa. Además, hay que considerar que las placas cubran varios vanos o crujías, de forma que unas placas estarán más solicitadas que otras; de esta forma, puede llegar a interesar utilizar el mismo modelo de placa por una cuestión práctica (fabricación y colocación) y evitar trabajar con modelos distintos.

7.1 Solicitaciones por vano

Vano	Ejecución	ELU Flexión	ELU Rasante	ELU Cortante	Incendio		ELS Fisuración [M0.2]	SELECCIÓN
	Momento (M) (en m·kN)	Momento (M) (en m·kN/m)	Cortante (V) (en kN/m)	Cortante (V) (en kN/m)	Momento (M) (en m·kN/m)	Cortante (V) (en kN/m)	Momento (M) (en m·kN/m)	Tipo Alveoplaca
A-B	80,55	163,43	88,09	85,31	108,64	59,51	102,09	
B-C	80,55	131,86	91,77	88,88	87,65	62,00	83,66	
C-D	87,47	175,21	91,77	89,02	116,47	62,00	109,80	
D-E	0,00	0,00	19,40	13,58	0,00	12,90	0,00	

Por ejemplo, para este caso se toma el valor más alto de momento de flexión positiva ( $Md+ = 175,21 \text{ m}\cdot\text{kN/m}$ ) y se va a la ficha técnica del fabricante. Se considera que en el predimensionamiento se ha seleccionado una configuración de forjado de forjado de 26,5 cm (canto de la placa) + 5 cm (capa de compresión).

TIPO DE FORJADO	TIPO DE LOSA	FLEXIÓN POSITIVA (1)																
		Módulo resistente $W_{inf} (\text{cm}^3/\text{m})$	$M_u (\text{m}\cdot\text{KN}/\text{m})$	$\beta^{(*)}$	Rigidez ( $\text{m}^2\text{MN}/\text{m}$ )		M Límite servicio (3) ( $\text{m}\cdot\text{KN}/\text{m}$ )				$V_{u2} (\text{KN}/\text{m})$ (2)						$\sigma_c$ (*)	Rasante ( $\text{KN}/\text{m}$ )
					Bruta $E \cdot I_a$	Fisura da $E \cdot I_f$	$M_o$	$M_o'$	$M_f$	$M_{o,2}$	$M_{is,d} (\text{m}\cdot\text{KN}/\text{m})$	$V_{u2}$	$M_d < M_{is,d}$					
													$M_d > M_{is,d}$					
					Long. entrega (mm)													
X1=50 mm		X2=100 mm																
$V_{a^*}$	$V_{u2^*}$	$V_{a^*}$	$V_{u2^*}$															
(26,5+0) x 120	26.5-1	9167	50,43	1,00	46,80	1,70	26,50	33,67	54,46	71,02	44,2	56	94	68	132	75	1,00	---
	26.5-2	9167	78,51	1,00	46,80	2,72	43,37	53,55	72,33	92,15	58,8	62	162	71	219	78	1,00	---
	26.5-3	9250	102,24	1,00	46,80	3,38	56,24	70,75	86,12	110,25	70,0	71	232	74	314	82	1,00	---
	26.5-4	9333	126,09	1,00	46,80	4,14	70,70	87,83	101,55	129,65	82,5	76	276	77	374	85	1,00	---
	26.5-5	9333	149,26	1,00	46,80	4,78	81,89	103,00	113,33	146,55	92,1	88	344	79	465	88	1,00	---
	26.5-6	9417	172,38	1,00	46,80	5,44	94,41	117,75	126,77	161,75	103,0	94	465	82	637	91	1,00	---
	26.5-7	9500	195,62	1,00	46,80	6,03	103,89	131,79	136,91	178,29	111,3	106	478	86	656	93	1,00	---
	26.5-8	9500	215,16	1,00	46,80	6,68	115,45	145,33	149,16	194,40	121,2	113	507	89	685	97	1,00	---
	26.5-9	9583	238,28	1,00	46,80	7,25	123,88	154,01	158,28	209,87	128,6	115	586	91	793	99	1,00	---
(26,5+5) x 120	26.5-1	11687	63,64	1,60	78,00	2,54	35,45	41,00	70,60	90,80	57,3	64	192	104	252	109	1,20	199
	26.5-2	11764	96,96	1,60	78,00	3,88	55,63	62,40	92,25	115,30	75,0	71	220	112	307	119	1,20	199
	26.5-3	11835	130,68	1,60	78,00	4,97	73,30	84,34	111,29	141,55	90,4	83	277	123	364	130	1,20	199
	26.5-4	11905	160,67	1,60	78,00	6,09	91,47	102,62	129,83	163,61	105,5	90	331	124	435	131	1,20	199
	26.5-5	11878	190,17	1,60	78,00	7,03	106,83	121,20	146,57	186,33	119,1	102	412	124	541	132	1,20	199
	26.5-6	12034	218,60	1,60	78,00	8,02	121,82	137,77	162,50	204,58	132,1	110	557	125	733	133	1,20	199
	26.5-7	12100	248,17	1,60	78,00	8,88	136,95	155,92	178,25	228,68	144,9	126	589	130	769	140	1,20	199
	26.5-8	12164	277,67	1,60	78,00	9,85	150,24	172,00	192,80	246,64	156,7	134	608	133	800	143	1,20	199
	26.5-9	12229	308,55	1,60	78,00	10,70	164,30	187,63	207,20	267,33	168,4	149	704	135	926	145	1,20	199

De la tipología de forjado preseleccionado, se busca aquel modelo (si lo hay) que admita una flexión máxima ( $M_{último+}$ ) mayor o igual al valor obtenido por cálculo ( $M_d+$ ), siendo el tipo 5 el primero que cumple la ecuación.

### 3.6.5.2. E.L.U. de cortante

Generalmente el efecto de cortante no suele ser limitativo en los forjados de placas alveolares. En cualquier caso, la ficha de características técnicas debe indicar la cuantía de armadura pasiva a disponer en el armado de la capa de compresión en  $\text{mm}^2/\text{m}$  siempre y cuando ésta se coloque.

Deberá comprobarse que:  $V_d = \gamma \cdot V_k \leq V_u$

Del ejercicio anterior, se repetiría el mismo proceso buscando a partir de qué modelo satisface el cortante de cálculo:  $V_d = 89,02 \text{ kN/m} \leq V_u$  (para una longitud de entrega de 5 cm).

TIPO DE FORJADO	TIPO DE L	Md < Mfis,d			
		Long. entrega (mm)			
		X1=50 mm		X2=100 mm	
		Va*	Vu2*	Va*	Vu2*
(26,5+5) x 120	26,5-1	192	104	252	109
	26,5-2	220	112	307	119
	26,5-3	277	123	364	130
	26,5-4	331	124	435	131
	26,5-5	412	124	541	132
	26,5-6	557	125	733	133
	26,5-7	589	130	769	140
	26,5-8	608	133	800	143
	26,5-9	704	135	926	145

El modelo 1 ya cumple, demostrándose en este caso que el E.L.U. de cortante es menos restrictivo.

### 3.6.5.3. E.L.U. de rasante

No suele ser una limitación determinante en los forjados de placas, excepto en su aplicación como tableros de puentes, donde el estado de cargas (tráfico pesado) puede producir muy esfuerzos importantes.

En general, la principal oposición al efecto de rasante es la mejor adherencia entre el hormigón de la capa de compresión vertido “in situ” y la cara superior de la placa o la colocación de armaduras de cosido entre la placa y la capa de compresión.

En cualquier caso, habría que repetir el mismo proceso anterior y verificar que el rasante obtenido en el cálculo es inferior al valor máximo que admite el tipo de placa seleccionada.

### 3.6.5.4. E.L.U. de torsión

Sólo se comprobará cuando haya elementos que produzcan momentos torsores, situación infrecuente en forjados, pero que en caso de que se produzca habría que analizar.

3.6.5.5. E.L.U. de punzonamiento

En forjados de losas alveolares con o sin losa superior hormigonada en obra, si existen cargas concentradas se verificará el Estado Límite de Punzonamiento.

3.6.6. Comprobación de la ejecución

La situación de ejecución debe comprobarse para la placa aislada. Retomando el ejercicio anterior, tenemos un valor máximo de flexión de cálculo de 87,47 m·kN/m. En la ficha técnica del fabricante, acudimos a los valores mecánicos del mismo modelo pero aislada y comprobamos si el tipo obtenido por la comprobación del E.L.U. de flexión es suficiente. Comprobamos que el tipo 5 no es suficiente (76,90 m·kN/m) por lo que habría que irse a un tipo 6 (90,40 m·kN/m), siendo finalmente éste el que seleccionaría:

4. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ELEMENTO PREFABRICADO AISLADO															
TIPO DE LOSA	Módulo Resistente (cm <sup>3</sup> / m)		P.e (N.m) (*)	Tensión inicial debida al pretensado (*) (N/mm <sup>2</sup> )		Momentos sollicitación máximos durante ejecución (m·KN/m)		Momentos últimos a flexión positiva y negativa (m·KN/m)		Momentos en servicio a flexión positiva (m·KN/m)				Vu (KN/m)	
	Inf.	Sup.		$\sigma_{inf}$	$\sigma_{sup}$	M <sub>1</sub> (vano)	M <sub>2</sub> (sopanda)	Mu1	Mu2	Mo	Mo'	Mf	Mo,2	Entrega (mm)	
														50 mm	100 mm
1	9167	9303	12830	- 3,30	- 0,80	24,20	-23,25	50,43	-26,34	26,50	33,67	54,46	71,02	68	75
2	9167	9313	26130	- 5,40	- 0,50	39,60	-27,96	78,51	-29,07	43,37	53,55	72,33	92,15	71	78
3	9250	9361	30090	- 7,00	- 1,30	51,80	-38,11	102,24	-47,49	56,24	70,75	86,12	110,25	74	82
4	9333	9370	42090	- 8,90	- 1,00	66,45	-35,90	126,09	-49,43	70,70	87,83	101,55	129,65	77	85
5	9333	9418	45150	- 10,30	- 1,80	76,90	-42,11	149,26	-66,34	81,89	103,00	113,33	146,55	79	88
6	9417	9426	56250	- 12,00	- 1,50	90,40	-39,89	172,38	-68,75	94,41	117,75	126,77	161,75	82	91
7	9500	9493	55450	- 13,30	- 2,70	101,08	-49,28	195,62	-92,25	103,89	131,79	136,91	178,29	86	93
8	9500	9500	66570	- 15,00	- 2,40	114,00	-47,04	215,16	-95,30	115,45	145,33	149,16	194,40	89	97
9	9583	9568	65770	- 16,20	- 3,40	124,19	-55,03	238,28	-119,43	123,88	154,01	158,28	209,87	91	99

(\*)En el instante de la transferencia (signo negativo: tensiones de compresión)

3.6.7. Comprobación de los estados límite de servicio

En el caso de la fisuración y la deformación, el empleo de elementos prefabricados pretensados suele implicar un mejor comportamiento y mejores prestaciones, aunque no por ello una vía de ahorro económico para el prefabricador.

### 3.6.7.1. E.L.S. de fisuración

El Estado Límite de Fisuración hace referencia a una situación cuya superación pondría en peligro la durabilidad de la estructura por deficiente protección contra la corrosión de las armaduras, pudiendo atentar contra el buen aspecto. Además, podría atacar la funcionalidad en aquellas obras donde es fundamental la estanqueidad, como es el caso de depósitos, canales o cubiertas que por razones económicas, no puedan ser impermeabilizadas.

Para que el forjado de placas alveolares mantenga sus características a lo largo de toda su vida útil, las armaduras tanto activas como pasivas deben estar adecuadamente protegidas de la corrosión, con suficiente recubrimiento y según la permeabilidad del hormigón prefabricado. Para ello, deberá limitarse la abertura máxima de fisura:

Clase exposición	Acciones frecuentes	Acciones cuasipermanentes	Momento resistidos (ELS)
I	0.2 mm		$M_{0,2}$
II	0.2 mm	$\sigma_{ct} = 0$ (a la altura de las armaduras activas)	$M_{0,2}$ y $M'_0$
III	$\sigma_{ct} = 0$ (a la altura de la fibra extrema)		$M_0$

Tabla.- Máximas aberturas de fisura permitidas para elementos pretensados



Figura.- Placas alveolares en ambiente marino (corrosión por cloruros)

### 3.6.7.2. E.L.S. de deformación

Una de las posibilidades de reducir o controlar la contraflecha, es la disposición de armaduras pretensadas, colocadas en la parte superior del elemento prefabricado.

De hecho, dichas armaduras superiores ya se colocan por diseño para cubrir momentos negativos indeseados, en las operaciones de extracción, acopio, carga y medios de elevación para la colocación del prefabricado en la estructura.

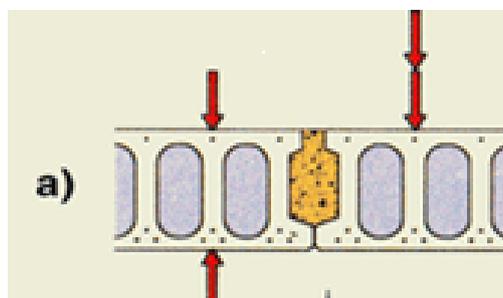
### 3.6.7.3. E.L.S. de vibraciones

De todas las partes que conforman la estructura, quizá los forjados puedan resultar los más sensibles a este tipo de fenómeno.

La previsión de dicho fenómeno resulta compleja, pero en cualquier caso, la vibración queda inversamente asociada a la rigidez y directamente a la mayor limitación fijada en la deformación del forjado.

### 3.6.8. Comprobación de las juntas entre placas alveolares

Cuando dos placas alveolares adyacentes soportan distinta carga, la junta longitudinal entre ellas queda sometida a un esfuerzo cortante con valor de cálculo  $V_d$  igual a la diferencia de cargas mayoradas a uno y otro lado de la junta. Por tanto, debe comprobarse la resistencia de la junta para mantener unidas dos placas cuando una de ellas tiende a "descolgarse" de la otra.



### 3.7. Durabilidad

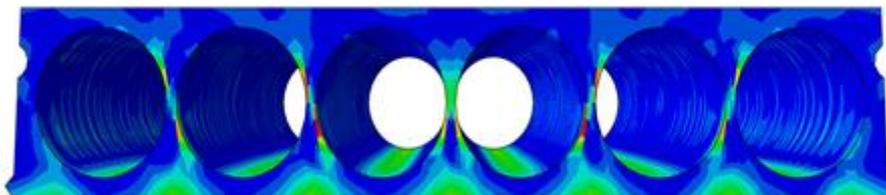
Además de la limitación de las fisuras para impedir la corrosión de las armaduras, la estrategia de durabilidad también se enfoca en fabricar un hormigón de calidad, algo habitual en la industria del prefabricado:

- Dosificación adecuada (máxima relación agua/cemento, mínimo contenido de cemento, utilización de un cemento resistente según el caso, etc.);
- Recubrimientos y separación de armaduras: por aplicación del Código Estructural, hay una posible reducción de 5 mm del espesor de recubrimiento para ambientes X0 (antigua clase I) y XC (antiguas subclases II), en el caso de trabajar con hormigones de resistencia igual o superior a 40 N/mm<sup>2</sup>, algo habitual en las placas alveolares.



### 3.8. Resistencia al fuego

Como ya indicamos en la guía técnica de estructuras de edificación, la reglamentación suele proporcionar varios métodos de comprobación frente al fuego que dan lugar a diferentes niveles de precisión y de complejidad.



En cuanto a los métodos simplificados, como los de los datos tabulados y la Isotherma 500, suponen una comprobación de los distintos Estados Límite Últimos considerando

elementos estructurales aislados (se desprecian las acciones indirectas debidas al fuego como dilataciones, deformaciones, etc.), distribuciones de temperatura preestablecidas, generalmente para secciones rectangulares y, como variaciones en las propiedades de los materiales por efecto de la temperatura, modelos simplificados y sencillos.

Por su sencillez e inmediatez, el método seguido normalmente es el de los valores tabulados:

<b>Dimensiones mínimas</b>	<b>Clase de resistencia al fuego requerida</b>			
	<b>REI 60</b>	<b>REI 90</b>	<b>REI 120</b>	<b>REI 180</b>
Espesor de la placa (mm)	130	160	200	250

*Fuente.- Tabla G.1. UNE-EN 1168 Placas alveolares*

El espesor efectivo de la placa a efectos de fuego ( $t_e$ ), se calcula según Anexo G de la UNE-EN 1168:

$$t_e = h \sqrt{A_c / (b \times h)}$$

Donde:

h es el espesor real de la placa (mm);

Ac es el área de hormigón de la sección de hormigón (mm<sup>2</sup>);

b es la anchura de la placa ( $\approx 1.200$  mm)

No obstante, los fabricantes pueden especificar en las fichas técnicas estos valores adaptados a su propio catálogo de placas alveolares. Regresando al ejemplo anterior de la misma empresa, nos encontramos con la siguiente información:

TIPO DE FORJADO	TIPO DE LOSA	RESISTENCIA A FUEGO NORMALIZADO					
		Am (mm)	te (mm)	$\mu_{f,t}$	Mfi,d,0	REI (min)	
(40+0) x 120	1	30 25 20	285	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	90,73	90 90 60	
	2	30 25 20	285	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	123,42	90 90 60	
	3	30 25 20	285	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	155,81	90 90 60	
	4	30 25 20	285	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	177,07	90 90 60	
	5	30 25 20	285	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	230,29	90 90 60	
	6	32,90 27,90 22,90	285	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	296,64	120 90 90	
	7	33,50 28,50 23,50	285	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	340,33	120 90 90	
	8	33,20 28,20 23,20	285	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	371,48	120 90 90	
TIPO DE FORJADO	TIPO DE LOSA	RESISTENCIA A FUEGO NORMALIZADO					
		As (mm)	Am (mm)	te (mm)	$\mu_{f,t}$	Mfi,d,0	REI (min)
(40+5) x 120	1	40	30 25 20	336	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	106,06	90 90 60
	2	40	30 25 20	336	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	144,38	90 90 60
	3	40	30 25 20	336	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	180,78	90 90 60
	4	40	30 25 20	336	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	206,02	90 90 60
	5	40	30 25 20	336	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	266,98	90 90 60
	6	42,90	32,90 27,90 22,90	336	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	343,40	120 90 90
	7	43,50	33,50 28,50 23,50	336	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	394,07	120 90 90
	8	43,20	33,20 28,20 23,20	336	$\leq$ 0,4 0,5 0,6	428,69	120 90 90

### 3.9. Características térmicas y acústicas

Tal y como se indicaba anteriormente, las fichas técnicas pueden proporcionar adicionalmente las propiedades térmicas y/o acústicas del forjado, de forma que el proyectista pueda comprobar su idoneidad frente a las exigencias que establezca en estos requisitos la reglamentación aplicable.

<b>7. CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS Y ACÚSTICAS</b>						
TIPO DE FORJADO	Masa (Kg/m <sup>2</sup> )	AISLAMIENTO TÉRMICO			AISLAMIENTO ACÚSTICO	
		$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	R (m <sup>2</sup> K/W)	$\mu$	R <sub>a</sub> (dBA)	Ln,w (Db)
40+0	505	1180	0,22	80	60,17	74,00
40+5	630	1310	0,235	80	63,67	70,50
40+10	755	1300	0,25	80	66,54	69,00
40+15	880	1360	0,265	80	68,97	67,50

**NOTA:** Los datos de R<sub>a</sub> y Ln,w se aplican a losas sin enlucir. Cuando las losas estén enlucidas por su cara inferior se aumentará el índice de reducción acústica R<sub>a</sub> en 2 dBA y se disminuirá su nivel global de presión de ruido de impactos Ln,w en 2 dBA

<p><b>AISLAMIENTO TÉRMICO:</b> <math>\rho</math> densidad del forjado  R resistencia térmica del forjado obtenida a partir del CTE-DB-HE y el catálogo de elementos constructivos  <math>\mu</math> factor de resistencia a la difusión del vapor de agua</p> <p><b>AISLAMIENTO ACÚSTICO:</b> R<sub>a</sub> = aislamiento a ruido aéreo, obtenido a partir de las expresiones del CTE-DB-HR: R<sub>a</sub> = 36,5 log(m)-38,5  Ln,w = aislamiento a ruido de impacto obtenido según tabla 3.3 del CTE DB-HR y de los acabados que se coloquen en obra.</p> <p><b>NOTA:</b> Los aislamientos térmicos y acústicos corresponden exclusivamente al forjado, sin considerar las soluciones constructivas, que deben ser definidas en cada proyecto particular. Estos valores suponen una información adicional ofrecida por el fabricante del sistema, no debiendo verificar por sí solos los requisitos establecidos en el CTE.</p>
--

### 3.10. Reglamentación técnica

Los forjados prefabricados de hormigón son seguramente uno de los grupos de productos más regulados históricamente en la construcción en España (véanse las antiguas autorizaciones de uso, ya derogadas).

La práctica totalidad de elementos prefabricados de hormigón destinados a conformar los forjados, están sujetos a disponer de marcado CE obligatorio. ANDECE ostenta la secretaría del comité nacional de prefabricados de hormigón UNE-CTN 127 y es a su vez representante del Comité Europeo de normalización CEN/TC 229, que son los foros donde se desarrollan la mayoría de las normas de productos que afectan a los elementos prefabricados de hormigón. Para conocer más sobre el marcado CE, ANDECE ha desarrollado una serie de guías de aplicación donde se detallan los aspectos que debe tener en cuenta el fabricante, así como el resto de los agentes que gestionen elementos prefabricados de hormigón (proyecto, construcción, mantenimiento, etc.).

Uno de los aspectos que aún hoy suscita más dudas es el relativo a la documentación reglamentaria que debe acompañar a los productos con marcado CE:

Según el Art. 62.1. del Código Estructural, en caso de productos con marcado CE, podrá comprobarse su conformidad simplemente mediante la verificación documental del citado marcado CE y de los valores asociados, sin necesidad de realizar comprobaciones o ensayos adicionales en su recepción.

Según el Art. 62.1. del Código Estructural, en caso de productos con marcado CE, podrá comprobarse su conformidad simplemente mediante la verificación documental del citado marcado CE y de los valores asociados, sin necesidad de realizar comprobaciones o ensayos adicionales en su recepción.

NORMA DE REFERENCIA <sup>(A)</sup> <sub>(B)</sub>	TÍTULO <sup>(B)</sup>	SISTEMA <sup>(C)</sup>
<a href="#">UNE EN 1168:2006+A3:2012</a>	Placas alveolares (para forjados y cubiertas)	2+
<a href="#">UNE EN 13224:2012</a>	Elementos para forjados nervados (tipo Π)	2+
<a href="#">UNE EN 13747:2006+A2:2011</a>	Prelosas para forjados	2+
<a href="#">UNE EN 15037-1:2010</a> <sup>(D)</sup>	Viguetas (sistemas de forjado vigueta y bovedilla)	2+
<a href="#">UNE EN 15037-2:2009+A1:2011</a>	Bovedillas de hormigón (sistemas de forjado vigueta y bovedilla)	2+

- Etiquetado marcado CE <sup>(E)</sup>
- Declaración/es de prestaciones conforme al Reglamento de Productos de Construcción <sup>(F)</sup>
- Copia del certificado CE de conformidad del control de producción en fábrica expedido por el Organismo Notificado que interviene en la certificación de los productos (*entrega opcional, no incluido en productos bajo sistema 4*).
- Instrucciones de uso y seguridad <sup>(G)</sup>
- Información técnica de acompañamiento (catálogo de producto): *para detalles constructivos, durabilidad, datos geométricos y otros parámetros (entrega opcional), veáse en cada norma. Información a presentar dependiendo del método de declaración de las propiedades elegido por el fabricante:*
  - Método 1 (declaración de los datos geométricos y propiedades de los materiales, según Apdo. ZA.3.2. de la Norma correspondiente)
  - Método 2 (declaración de las propiedades del producto conforme a los Eurocódigos, según Apdo. ZA.3.3. de la Norma correspondiente)
  - Método 3 (declaración de la conformidad con una especificación de proyecto dada, según Apdo. ZA.3.4. de la Norma correspondiente) <sup>(H)</sup>
- Certificado del control de producción en fábrica que demuestre que el hormigón se fabrica de conformidad con los criterios establecidos en el Código Estructural <sup>(I)</sup>
- Documentación relativa a los suministradores de los materiales empleados en la elaboración de las armaduras pasivas, caso de que se externalice <sup>(J)</sup>

- (A) La relación de productos de construcción con marcado CE (normas europeas UNE-EN) se indica en las Resoluciones que periódicamente publica el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo [\[+\]](#). Véase la última resolución publicada en el momento de edición de esta ficha [\[+\]](#).
- (B) Se recomienda comprobar el alcance de las normas de productos prefabricados de hormigón en la web de la Asociación Española de Normalización UNE [\[+\]](#) ó en los enlaces disponibles de este documento.
- (C) Sistemas de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones (según el texto del Reglamento Delegado Nº 568/2014): 1 y 2+ requieren intervención periódica de Organismo notificado; 4 proceso de autocertificación del fabricante.
- (D) La entrada del mercado CE de las viguetas implicó la derogación definitiva de las Autorizaciones de Uso como exigencia reglamentaria. No obstante, el fabricante puede seguir proporcionando de forma voluntaria las fichas técnicas de los forjados donde se empleen elementos prefabricados (si el elemento dispone de un Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido por el Ministerio de Fomento (en adelante DCOR) <sup>(1)</sup>, sí es obligatorio).
- (E) Debe llegar siempre al cliente. El fabricante debe elegir en al menos uno de los siguientes lugares, y por este orden de prioridad: a) En el producto; b) En una etiqueta adherida al mismo; c) En el embalaje; d) En una etiqueta adherida al embalaje ó e) En los documentos comerciales de acompañamiento.
- (F) La declaración de prestaciones podrá agrupar todos los productos incluidos por cada norma armonizada o referirse a productos más específicos. Este documento sustituyó a la Declaración CE de conformidad, con la entrada en vigor del Reglamento de Productos de Construcción nº 305/2011.
- (G) Al comercializar un producto, los fabricantes verificarán que el producto vaya acompañado de sus instrucciones y de la información de seguridad. El Ministerio de Industria valida los Manuales de ANDECE como Documentación de Uso y Seguridad según el RPC [\[+\]](#)
- (H) Dos casos: Diseño total del cliente: método 3a; ó Diseño del fabricante con una especificación de diseño dada por el fabricante de acuerdo a una orden del cliente: método 3b
- (I) Certificado voluntario para productos con marcado CE. Elaborado por un organismo de control o una entidad de

certificación, que avala que el hormigón se fabrica de conformidad con los criterios establecidos en el Código Estructural (para permitir la aplicación de un coeficiente de ponderación de 1,50 para el hormigón, en vez de 1,70)

[+]

- (J) 1) Documentación correspondiente al marcado CE o, en su caso, certificados de los ensayos que garanticen el cumplimiento de las especificaciones referidas en este Código; 2) En su caso, declaraciones de estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido; 3) En su caso, certificado del ensayo de adherencia.

**Productos con Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DCOR)**

- Distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme al Código Estructural (*entrega opcional*)

*Con carácter voluntario, los productos prefabricados de hormigón pueden ostentar un DCOR que aporten valores añadidos en la garantía para el usuario. En dicho caso, se entregará copia del certificado vigente del distintivo, firmado por persona física con capacidad suficiente del documento que lo acredite, donde al menos constará la siguiente información: identificación de la entidad certificadora; logotipo del distintivo de calidad; identificación del fabricante; alcance del certificado; número de certificado; fecha de expedición del certificado; período de vigencia del certificado.*

**Productos con Distintivo de Sostenibilidad Oficialmente Reconocido (DSOR)**

- Distintivo de sostenibilidad oficialmente reconocidos (DSOR) conforme al Código Estructural (*entrega opcional*)

*Se establece este nuevo distintivo para darle fiabilidad a los datos que servirán para verificar el cumplimiento de los indicadores y la determinación del ICES (Anejo 2 del Código Estructural), siendo necesario un proceso de certificación por parte de un organismo externo. Para ello, los agentes intervinientes (como puede ser el caso del prefabricador) deberá transmitir la información necesaria para la obtención del índice de contribución de cada producto o proceso a la sostenibilidad (ICPS)*

## 4. MONTAJE

### 4.1. Forjados altamente industrializados: placas alveolares

#### 4.1.1. Generalidades

Por ser el elemento más industrializado, describiremos las fases de ejecución habitual de un forjado de placas alveolares:

- Montaje jácenas (y acopio si es necesario);
- Montaje placa alveolar (y acopio si es necesario);
- Colocación de mallazo y negativos;
- Hormigonado de la capa de compresión (si se aplica).

Los equipos utilizados son:

- Grúa autopropulsada;
- Plataforma elevadora de personas;
- Barandillas perimetrales y líneas de vida y/o pinzas de montaje de placas;
- Bomba de hormigón o cubilote.



#### 4.1.2. Proceso a seguir

El proceso a seguir podría ser el siguiente:

- Las operaciones de descarga no se realizan de una sola vez ya que las piezas se van transportando a medida que avanza la obra. Siempre que sea posible, se montará directamente desde el camión para evitar acopios intermedios;
- La zona de trabajo debe estar convenientemente señalizada, prohibiendo el paso a todo el personal ajeno a los trabajos;
- Si se van a descargar, previamente a esta operación, el equipo de Montajes habrá determinado el lugar de acopio, lo más cerca posible del lugar de ubicación definitiva y debidamente acondicionado.



*Figura.- Descarga de placas alveolares*

- El acopio se realizará en terreno “firme, compactado y sin desniveles”, evitando terrenos poco resistentes, bordes de taludes, zanjas, etc. Se colocarán sobre listones/tacos de madera situados de modo que se garantice la estabilidad y que este no toque en ningún momento con el terreno. No se pueden dejar acopiadas piezas sueltas en los bordes de forjado y huecos, se deberá dejar como mínimo una distancia 1,5 m. En todo caso, se tendrá en cuenta la capacidad del forjado;
- Una vez lleguen los camiones con las piezas a obra, el equipo de montaje situará los mismos en las zonas establecidas y procederá a desenganchar los elementos de amarre empleados para evitar desplazamientos de las piezas durante el transporte;

- Los equipos de montaje habitualmente estarán formados por tres montadores y un gruísta. Dos montadores realizarán las labores de posicionamiento final mientras el tercero engancha las piezas, así evitamos que un montador tenga que subir y bajar en cada enganche;
- Las maniobras de la grúa serán dirigidas por un único montador y no realizará ningún movimiento sin la previa autorización de éste;
- Hay que tener muy en cuenta el riesgo de atrapamiento por lo que no se realizarán movimientos bruscos y no se acompañarán las piezas con las manos. Una vez se comprueba que está bien enganchada la pieza se saldrá del radio de acción de la grúa para evitar golpes por movimientos imprevisibles de la pieza;
- Las jácenas se engancharán por los elementos de elevación situados en las mismas para tal fin. Antes del montaje de las vigas, se colocan en éstas los mástiles y líneas de vida al que posteriormente se sujetarán los trabajadores cuando vayan a colocar las placas. Se situará una “cuerda guía” cuando consideren que el balanceo de la pieza les pueda ocasionar problemas para llevarla a su ubicación definitiva. El montaje de las jácenas se realizará desde la plataforma elevadora en todo momento.
- Previa a la realización del enganche de las placas, el equipo de montaje comprobará que las dimensiones de las placas y el lugar donde van ubicadas son correctas y que los apoyos donde asientan las placas están perfectamente planos, regularizando los mismos en el caso de que sea necesario con una [capa de mortero adecuado ó mediante neoprenos](#);
- A continuación, procederá a enganchar los útiles de izado (en medidas estandarizadas emplearemos conjunto cercha pinza, en el resto cadenas o eslingas textiles) otra posibilidad, aunque menos habitual, es el uso de placas con gancho de elevación incorporado;
- Las pinzas de aprensión o los ganchos de elevación incorporados en las propias piezas son los mejores sistemas porque permiten la mejor colocación de las placas en su ubicación definitiva sin que los montadores tengan que mover la placa una vez situada con barras, palancas, etc. reduciendo los tiempos, desperfectos y, especialmente, disminuyendo los riesgos por sobreesfuerzos;

- El enganche de las placas estándar, se realizará colocando el conjunto cercha-pinzas de elevación sobre la Placa a enganchar, centrando el mismo sobre la Placa. Una vez realizado el correcto apriete de las mordazas de las pinzas se colocan las cadenas de seguridad bajo la placa lo más ajustada posible. En todo caso, se seguirán las indicaciones del fabricante en cuanto a vuelos, capacidad, etc. ;
- Los trabajadores deben cuidar su ubicación para evitar golpes o atrapamientos por balanceo del conjunto cercha-pinzas;
- Una vez aproximada la placa al lugar de ubicación indicado en los planos, se retira la cadena de seguridad y se lleva a su sitio definitivo con la ayuda de una “palanqueta”, evitando situar las manos en zonas de peligro.



*Figuras.- Montaje de placa alveolar: se suelta la cadena de seguridad antes de colocar en su ubicación definitiva*

- Durante el proceso de desenganche de las cadenas de seguridad, apoyo de la placa sobre las vgas y retirada del conjunto cercha - pinzas de elevación el riesgo de atrapamiento es importante, por lo que es necesario estar muy atentos a estas maniobras;
- Para el acceso a la zona de apoyo de la primera placa del forjado, los trabajadores emplearán plataforma elevadora tipo PEMP ó andamio

homologado, es muy importante planificar adecuadamente la operación con puntos específicos de anclaje para el desembarco desde los medios de acceso a la zona de trabajo;

#### 4.1.3. Recomendaciones de seguridad

Si bien el montaje de un forjado industrializado reduce notablemente el tiempo de exposición a los riesgos frente a uno poco o nada industrializado, hay que tener una serie de medidas específicas propias del montaje de las placas alveolares.

En general se empleará las líneas de vida montadas con anterioridad en las jácenas pero se pueden dar situaciones donde no apoyen directamente en la jácena por lo que se deben prever puntos de anclaje específicos (existe gran variedad en el mercado).

Si bien en el montaje de forjados in situ tras la colocación de puntales, sopandas y paneles de encofrado los sistemas de protección suelen ser líneas de vida para trabajar a borde de forjado y redes horizontales bajo el entablado, en el montaje prefabricado no es recomendable el uso de las redes. Una operación de colocación de una placa en condiciones normales dura aproximadamente 2-3 minutos, al colocar las redes se dificulta enormemente el posicionamiento de la grúa, alejándola de la zona de trabajo y aumentando los riesgos al restar visibilidad (tanto de la carga suspendida como de los montadores) y ampliar el tiempo de exposición. A este aumento del riesgo habría que añadir los riesgos propios del montaje de las redes.

Una vez situada la primera placa, los trabajadores podrán ir desplazándose sobre las placas ya situadas mediante el empleo de líneas de vida ó sistemas de enganche adecuados (como pinza de seguridad para montaje).

La pinza de seguridad es un sistema cómodo y rápido que permite el montaje de las placas de forma segura. Es el método más adecuado cuando la altura del forjado limita el uso las líneas de vida. Se coloca transversalmente a la placa alveolar y permite atarse mediante dispositivo retráctil específico para trabajos en horizontal limitando la caída en altura y permitiendo alcanzar los extremos de las placas.



*Figura.- Sistema de pinza de seguridad*

Según se vaya avanzando en el montaje debemos anteponer las medidas colectivas a las individuales por lo que se deben ir incorporando protecciones de borde en las placas finales y zonas de huecos. Hasta el cierre total mediante barandillas es recomendable señalar la zona con riesgo de caída a distinto nivel mediante balizamiento o vallado. Los montadores llevarán arnés de seguridad atado a línea de vida ó pinza de seguridad durante todo el proceso.

En todos los casos se seguirán las indicaciones del plan de seguridad y salud de la obra y los manuales de instrucciones de los equipos a utilizar.

Previamente al inicio de los trabajos se comprobará el estado de los equipos de trabajo y Epi's, las posibles interferencias con otros trabajos y servicios.

Una vez situadas las placas sobre las vigas se procederá al reparto y atado de la ferralla y posterior vertido del hormigón para la capa de compresión, si lo indicara oficina técnica anteriormente se apuntalarán las placas por la parte inferior.

### **4.2. Forjados poco industrializados: sistemas de vigueta y bovedilla**

El artículo 54 del Código Estructural indica unas pautas para una correcta ejecución de los forjados de vigueta y bovedillas:

- El apuntalado se efectuará de acuerdo con lo establecido en esta Instrucción. Una vez niveladas las sopandas, se procederá a la colocación de las viguetas con el intereje que se indique en los planos, mediante las piezas de entrevigado extremas. Finalizada esta fase, se ajustarán los puntales y se procederá a la colocación de las restantes piezas de entrevigado;

- Los plazos de desapuntalado serán los indicados en la Instrucción. Para modificar dichos plazos, el Constructor presentará a la Dirección facultativa para su aprobación un plan de desapuntalado acorde con los medios materiales disponibles, debidamente justificado y donde se establezcan los medios de control y seguridad apropiados. El orden de retirada de los puntales será desde el centro de vano hacia los extremos y en el caso de voladizos, del vuelo hacia el arranque. No se entresacarán ni retirarán puntales sin la autorización previa de la Dirección Facultativa. No se desapuntalará de forma súbita y se adoptarán las precauciones debidas para impedir el impacto de las sopandas y puntales sobre el forjado.



## 5. SOSTENIBILIDAD

### 5.1. Generalidades

A medida que ha ido incrementándose la conciencia ambiental en la sociedad, las empresas se han dado cuenta de la enorme importancia de evaluar cómo afectan sus actividades al medio ambiente. Ante esta creciente demanda, las empresas deben responder ofreciendo productos más ecológicos, empleando procesos de producción “más limpios”. Una de las herramientas que se pueden aplicar para mejorar los productos y los procesos es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), siendo el soporte de las declaraciones ambientales de producto (DAP).

### 5.2. Declaración ambiental de producto (DAP) de forjados prefabricados de hormigón

#### 5.2.1. ¿Qué es una DAP?

Una DAP plasma, en un documento verificado por una tercera parte independiente, los resultados de esa evaluación ambiental objetiva. El contenido de esa DAP y los detalles de lo que hay que considerar en el estudio de ACV correspondiente vendrá definido bien en una norma, en este caso en la [UNE-EN 16757](#) “Sostenibilidad de las obras de construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de Categoría de Producto para hormigón y elementos de hormigón”, que a su vez se referencia en la norma europea [UNE-EN 15804](#), que establece unas reglas de categoría de producto (RCP) comunes para el sector de la construcción. De esta forma, la DAP proporcionará un perfil ambiental basado en datos cuantificados y verificables, empleando una serie de categorías de impacto normalizadas.

En la construcción, una declaración ambiental de producto es una importante herramienta para valorar las características de sostenibilidad de los diferentes materiales de construcción que van a utilizar en sus proyectos. Poco a poco comienza a ser una información demandada por promotores (como factor de diferenciación), administraciones (para implementar los compromisos en materia ambiental), usuarios (creciente sensibilización hacia el medio ambiente) u otros agentes. Especialmente están dirigidas a obras que se certifiquen conforme a sistemas de certificación de la sostenibilidad, siendo los más implantados las herramientas LEED y BREEAM, y estos estar orientados a edificios de titularidad privada. También comienza a observarse una mayor sensibilización en la obra pública, pudiendo el componente medioambiental y/o

social ser un criterio a puntuar en la contratación. Además, da respuesta a una de las novedades que introdujo el Reglamento Europeo de Productos de Construcción con el nuevo requisito “Uso sostenible de los recursos naturales”.

Las DAP sectoriales resultan útiles cuando diferentes empresas fabricantes del mismo tipo de producto se agrupan para recopilar en conjunto los datos del inventario de ciclo de vida del producto y mostrar la información “media” de los resultados como representativos.

Por esta razón, ANDECE ha realizado seis DAP sectoriales entre sus empresas asociadas, una de las cuales, relativa a los forjados prefabricados de hormigón, agrupando todos los productos incluidos en esta guía.

### 5.2.2. Declaración de los parámetros ambientales derivados del ACV

CATEGORIA DE IMPACTO	PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
			ETAPA DE PRODUCTO			
			A1	A2	A3	A1-A3
Calentamiento global (kg CO2 eq)	Potencial de calentamiento global	kg CO2 eq	1,40E+02	8,12E+00	2,57E+00	1,51E+02
Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC 11 eq)	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico	kg CFC 11 eq	1,33E-05	1,52E-06	8,54E-07	1,57E-05
Acidificación del suelo y el agua (kg SO2 eq)	Potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua	kg SO2 eq	3,67E-01	2,83E-02	1,72E-02	4,12E-01
Eutrofización (kg PO4 eq)	Potencial de eutrofización	kg (PO4)eq	9,02E-02	5,33E-03	1,65E-03	9,72E-02
Formación de ozono fotoquímico (kg Etileno eq)	Potencial de formación de ozono troposférico	kg Etileno eq	3,54E-02	1,04E-03	5,08E-04	3,70E-02
Agotamiento de recursos abióticos - elementos (kg Sb eq)	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles	kg Sb eq	-4,76E-04	3,03E-08	4,68E-07	-4,76E-04
Agotamiento de recursos abióticos – comb. fósiles (MJ)	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles	Mj valor calorífico neto	1,09E+03	1,18E+02	6,73E+01	1,27E+03

Leyenda: A1. Suministro de materias primas. A2. Transporte. A3. Fabricación

### 5.2.3. Uso de recursos

PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
		ETAPA DE PRODUCTO			
		A1	A2	A3	A1-A3
Uso de energía primaria renovable, excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	3,48E+01	0,00E+00	0,00E+00	3,48E+01
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	2,96E+01	0,00E+00	0,00E+00	2,96E+01
Uso total de la energía primaria renovable (energía primaria y recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima)	Mj valor calorífico neto	6,45E+01	0,00E+00	0,00E+00	6,45E+01
Uso de energía primaria no renovable, excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	9,21E+02	0,00E+00	0,00E+00	9,21E+02
Uso de la energía primaria no renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	2,41E+02	0,00E+00	0,00E+00	2,41E+02
Uso total de la energía primaria no renovable (energía primaria y recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima)	Mj valor calorífico neto	1,16E+03	0,00E+00	0,00E+00	1,16E+03
Uso de combustibles secundarios renovables (MJ)	Mj valor calorífico neto	2,42E+01	3,54E-01	1,04E+01	3,50E+01
Uso de combustibles secundarios no renovables (MJ)	Mj valor calorífico neto	4,50E+01	1,16E+02	6,75E+01	2,28E+02
Uso de materiales secundarios (kg)	KG	3,38E+01	1,87E-02	-7,16E-02	3,38E+01
Uso neto de recursos de agua dulce (m3)	M3	2,68E+01	6,74E-03	2,01E-02	2,68E+01

Leyenda: A1. Suministro de materias primas. A2. Transporte. A3. Fabricación

### 5.2.4. Categorías de residuos y flujos de salida

PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
		ETAPA DE PRODUCTO			
		A1	A2	A3	A1-A3
Residuos peligrosos eliminados (kg)	kg	2,62E-01	0,00E+00	0,00E+00	2,62E-01
Residuos no peligrosos eliminados (kg)	kg	2,33E-01	0,00E+00	0,00E+00	2,33E-01
Residuos radiactivos eliminados (kg)	kg	1,62E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,62E-06

Leyenda: A1. Suministro de materias primas. A2. Transporte. A3. Fabricación

PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
		ETAPA DE PRODUCTO			
		A1	A2	A3	A1-A3
Componentes para su reutilización (kg)	kg	4,32E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,32E+00
Materiales para el reciclaje (kg)	kg	3,01E-02	0,00E+00	0,00E+00	3,01E-02
Materiales para valorización energética (recuperación de energía) (kg)	kg	3,85E-01	0,00E+00	0,00E+00	3,85E-01
Energía exportada (MJ)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Leyenda: A1. Suministro de materias primas. A2. Transporte. A3. Fabricación

### 5.3. Otras ventajas sostenibles de los forjados prefabricados de hormigón

El hecho de que un producto disponga de una DAP no implica necesariamente que sea medioambientalmente mejor que otro que no lo tenga, pero sí la información que se obtenga como elemento imprescindible para mejorar el comportamiento ambiental (por ejemplo, identificar puntos de mejora para reducir el consumo eléctrico o de agua asociado, sin menoscabo de sus prestaciones).

Esta DAP considera el alcance “de la cuna a la puerta” incluyendo todas las etapas del ciclo de vida del producto hasta la puerta de la fábrica como producto terminado.

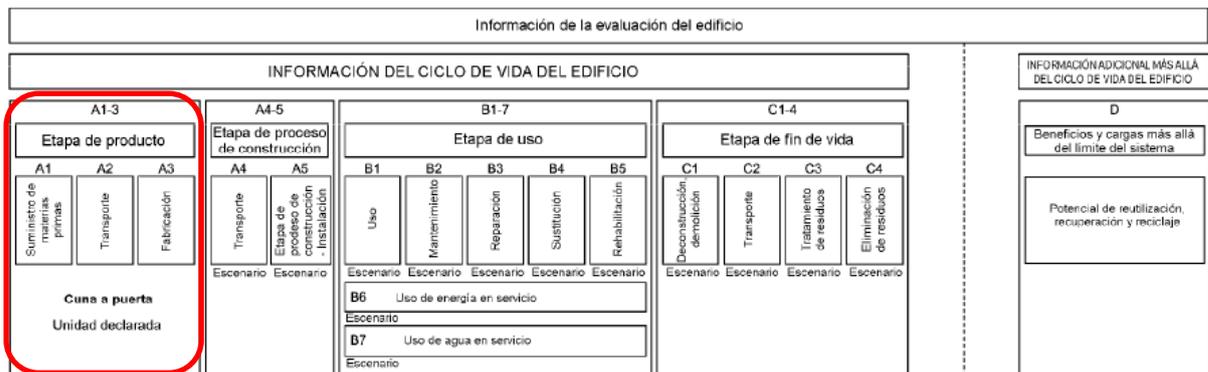


Figura.- Etapas y módulos de información para la evaluación de edificios. Ciclo de vida del edificio

El periodo de “cuna a puerta” sólo cubre la parte inicial del proceso, siendo el más habitual de los productos de construcción ya que en la mayoría de los casos son componentes que quedan integrados dentro de sistemas constructivos dentro del edificio o de la infraestructura, que es sobre la que es más razonable analizar todo el ciclo de vida. En el caso de los elementos prefabricados de hormigón, no se cuantifican así algunas de las características diferenciadoras como la mayor durabilidad, la inercia térmica, la carbonatación o su potencial de reciclabilidad/reutilización al final de su vida útil, que se analizarían en el caso de abordar el ciclo de vida completo. Por tanto, cabe pensar que en próximos estudios sea recomendable hacer un análisis de ciclo de vida completo para poner en valor dichas ventajas atendiendo a su comportamiento medioambiental.

## 6. METODOLOGÍA BIM

### 6.1. Conceptos básicos

La metodología BIM (modelado de información de la construcción) es un fenómeno imparable que irremediablemente empieza a cambiar la forma en que se ha concebido la construcción hasta ahora. Alineada con la llamada Industria 4.0 o Construcción 4.0, BIM viene fundamentalmente a “poner orden” en los proyectos de construcción, estableciendo mecanismos que permiten a todos los agentes participantes (estudios de arquitectura, consultoras e ingenierías, direcciones de proyecto y obra, empresas constructoras y subcontratistas, proveedores de materiales de construcción, administraciones, gestores de edificios e infraestructuras, etc.) establecer una comunicación más fluida, basándose en el desarrollo y acceso a modelos tridimensionales virtuales del edificio o infraestructura que se comparten, y que contienen información más allá de la geométrica con el fin de facilitar su uso en las diferentes fases del ciclo de vida del proyecto.

El sector de la construcción debe afrontar este salto hacia la digitalización de los proyectos, algo que atañe especialmente a los fabricantes y proveedores de productos de construcción, elementos imprescindibles para realizar cualquier proyecto constructivo.

En la etapa pre-BIM, cada proyecto, véase un edificio, se componía a su vez de determinados sub-proyectos (estructura, fachadas, instalaciones, accesos, etc.) que se han diseñado y ejecutado mayoritariamente mediante planos, y de forma independiente y a veces contradictoria (por ejemplo, una tubería que se define por donde ya transcurre una columna), provocando un número muchas veces elevado de errores que se manifiestan fundamentalmente durante la fase de ejecución, con los consecuentes perjuicios en plazos y costes.

En cambio, BIM actúa como una gran base de datos de todos los elementos que forman parte de un proyecto de construcción. Cada elemento está catalogado, por así decirlo, y cada cambio que pueda realizarse (por ejemplo, una placa alveolar cuya posición se cambia en el forjado para facilitar el paso de una instalación) permite visualizar cualquier alteración de los elementos adyacentes (por ejemplo, las conexiones con los pilares y/o forjados en los que apoya). Además, al ir incluyendo y refinando información a lo largo del proyecto, se genera un historial donde se archivan las decisiones tomadas, los datos de los materiales y los servicios realizados con la conformidad legal adecuada.

Por estos motivos, el uso creciente de BIM representa una oportunidad ideal para la consolidación definitiva de la industria de los elementos prefabricados de hormigón. La metodología BIM y especialmente la construcción industrializada con elementos prefabricados de hormigón se basan en parámetros similares: control más exigente desde la fase de diseño, un estricto cumplimiento de la geometría y la posición de los distintos elementos constructivos, mayor calidad, costes y plazos controlados y, como consecuencia de todo ello, mayor eficiencia al término de la obra.

## **6.2. Estrategia BIM de las empresas de prefabricados**

### **6.2.1. El salto a BIM**

Cada vez más, cualquier fabricante que aspire a participar en proyectos desarrollados bajo esta metodología, deba desarrollar antes un catálogo de productos en lenguaje electrónico BIM que permita a los proyectistas utilizar y conocer esta información. Se pasa de una información técnica basada en planos o ficheros de texto, a archivos digitalizados legibles por software BIM. La forma de transformar esta información en BIM diferirá según el tipo de fabricante: su magnitud, capacidad técnica y económica, ámbito geográfico de actuación, etc. Para ello, es fundamental que el fabricante digitalice su catálogo de producto, algo que será más o menos complejo en función básicamente del grado de estandarización de los elementos. En el caso de los elementos con aplicaciones estructurales, cada fabricante cuenta con una serie de secciones y características tipo que habrá que adaptar para cada proyecto específico, pudiendo encontrarnos además con un número elevado de elementos variados dentro de un mismo proyecto.

### **6.2.2. Nivel de información de los objetos**

Otra decisión que subyace en este sentido es qué cantidad de información debe incorporarse en BIM, para lo cual habrá que decidir qué debe incluirse y qué no (por ejemplo, características que no sean relevantes para el proyecto, o prefieran omitirse por ser información confidencial, etc.) y qué nivel de parametrización (optimizar el número de objetos a desarrollar, agrupándolos por ciertas características/parámetros). La información que contendrán los objetos puede clasificarse de la siguiente forma:

- Geometría: se puede definir con exactitud (largo x ancho x alto), o bien parametrizar dejando abiertas las dimensiones, definiendo un rango para cada dimensión y/o fijar un valor exacto que sea representativo (por ejemplo, placas alveolares de anchura 1.200 mm);
- Datos básicos: pueden ser las características esenciales que presentan las normas armonizadas de producto, referencia para los prefabricados con marcado CE (por ejemplo, tomando los valores que ya vienen definidos en la documentación de marcado CE, como es el caso de las Declaraciones de Prestaciones);
- Otros datos: información que el fabricante puede adicionalmente asignar al objeto BIM, ya sea de tipo cuantitativo (precio por m<sup>2</sup>, texturas superficiales, etc.) y/o cualitativo (marketing, instrucciones de montaje, etc.).

### 6.2.3. Desarrollo de objetos BIM

Una de las decisiones que debe tomar la empresa es si el desarrollo de objetos BIM de su catálogo de productos se lleva a cabo con personal propio (departamento técnico, delineantes, etc.) o si es preferible recurrir a una entidad especializada externa. En el caso de los fabricantes de estructuras en que, por magnitud de la empresa, y en que predominen los elementos poco estandarizados que dependen de cada proyecto, cabe esperar que la empresa apueste por la ir formando a personal propio para que adquiera las competencias necesarias en el uso de herramientas de modelado BIM y generar una biblioteca propia y ampliable en el tiempo.

### 6.3. Plataformas de objetos BIM

Es esencial apuntar la importancia que están adquiriendo las plataformas BIM de objetos de construcción, que presentan un número creciente de archivos digitales de productos y sistemas de construcción, tanto de fabricantes con productos específicos como de productos genéricos. Estas plataformas equivalen a buscadores de productos de construcción, donde aparecen todos aquellos productos de empresas que tienen objetos BIM con información geométrica y de otras características.

Cabe destacar la iniciativa llevada a cabo por ANDECE colaborando con algunas de estas plataformas para presentar una galería de productos prefabricados de hormigón

representativos, con el objetivo de enseñar a las empresas asociadas el camino a emprender en esta evolución digital hacia la metodología BIM.

### 6.3.1. BIMETICA

De origen español, la base de datos continúa creciendo gracias a la colaboración activa de diferentes fabricantes y asociaciones empresariales, que añaden nuevos productos y actualizan los datos continuamente. Gracias a ello, cualquier usuario puede acceder gratuitamente a la información de los productos y descargar los objetos BIM como familias Revit, objetos Archicad, archivos IFC, archivos AECOsim, archivos CAD 2D/3D, especificaciones técnicas, etc. con información detallada que puede integrarse directamente en el proyecto.

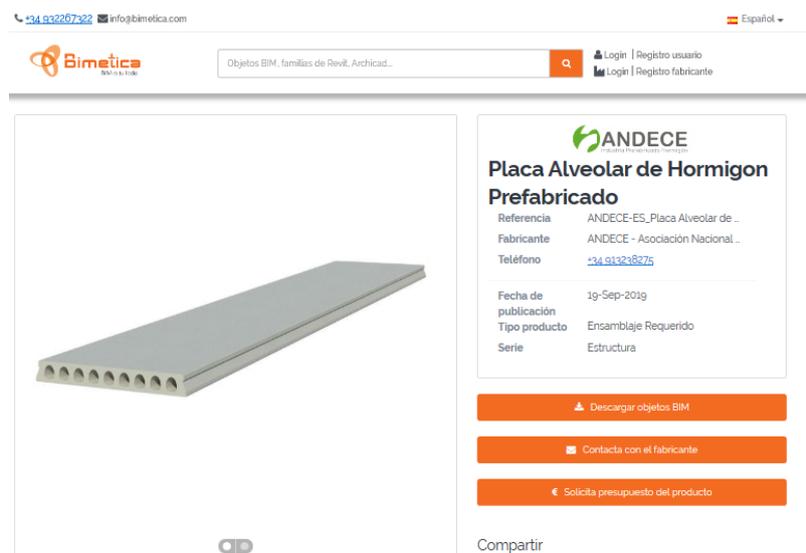


Figura.- Ventana de presentación de la placa alveolar en la galería BIMETICA

+info: Galería de productos genéricos de ANDECE en BIMETICA [\[+\]](#)

### 6.3.2. BIM&CO

De origen francés, BIM&CO ofrece una plataforma de colaboración internacional para contratistas y fabricantes de productos de construcción con el objetivo de estructurar y

distribuir sus datos a todas las partes involucradas en los procesos de la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción.

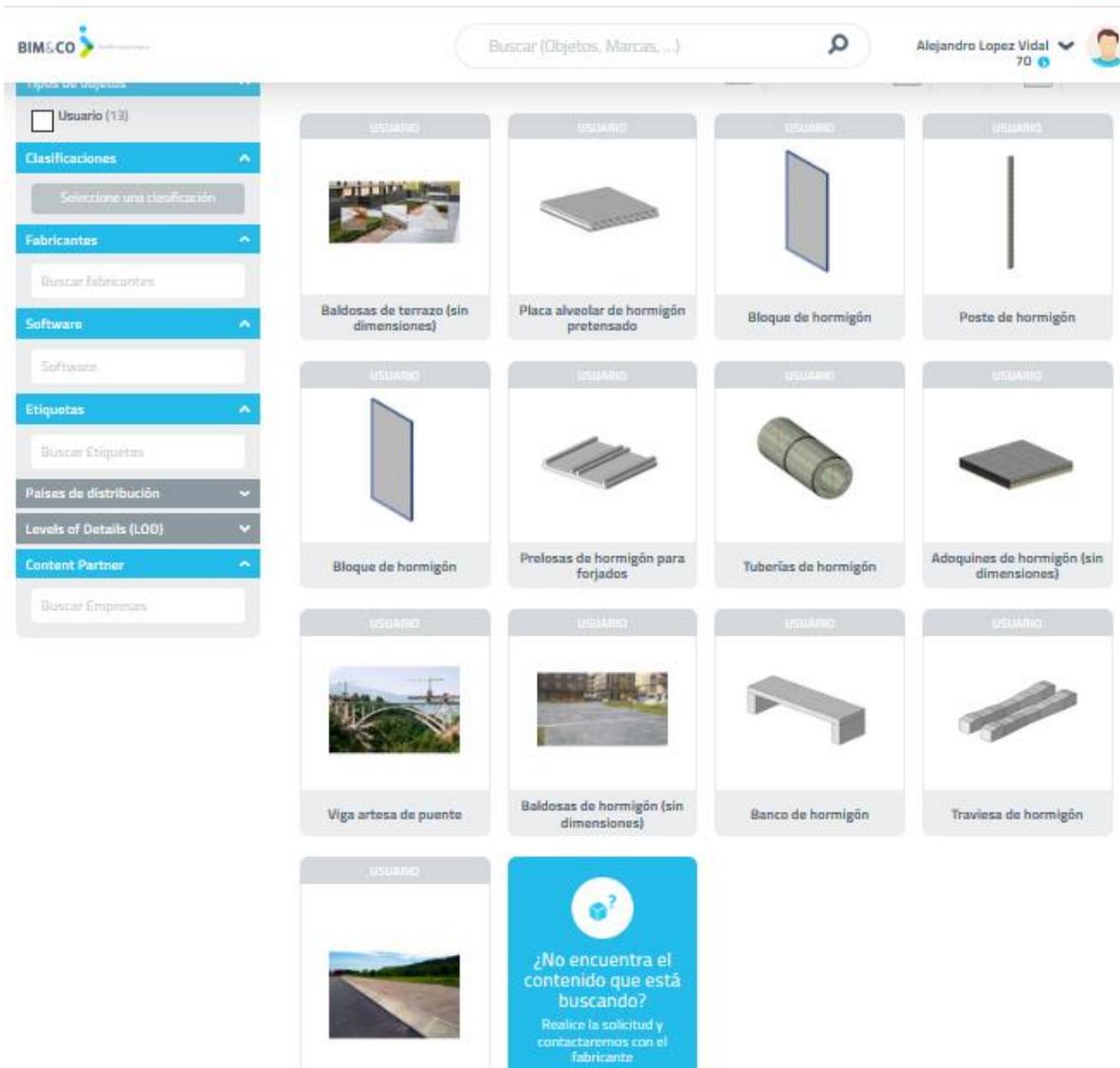


Figura.- Presentación de los objetos genéricos de ANDECE en la plataforma BIM&CO

[\[+\]](#)

### Ejemplo de contenidos del objeto genérico “Prelosa de hormigón para forjados” desarrollado directamente por ANDECE dentro de la plataforma BIM&CO

- Información general: datos creación, enlaces útiles (por ejemplo, al [buscador de fabricantes de la web de ANDECE](#) al tratarse de un producto genérico), código QR para poder descargarlo, etc.
- Fotografías seleccionadas de los elementos.
- Modelos 3D para descarga en el/los software en que se haya desarrollado (en este caso REVIT).
- Documentos adicionales: libertad para añadir información técnica, comercial, etc. que el fabricante quiera añadir.
- Propiedades y variantes: descripción técnica del elemento (por ejemplo, clasificado por las anchuras habituales).
- Clasificaciones según los estándares más reconocidos globalmente.
- Países de distribución: se puede dejar abierto, o acotarlo al país/países donde se comercialice el producto para concentrar la atención en un área geográfica determinada.

#### 6.4. Entrada del prefabricador al proyecto

Los proyectos con sistemas constructivos con elementos prefabricados de hormigón deben definirse de forma completa e inequívoca en proyecto (como en BIM), comenzando por la forma (precisión geométrica más elevada debido al proceso industrial) y las propiedades técnicas de los elementos individuales (prelosas de hormigón, etc.) hasta conformar el sistema constructivo completo (forjado), concibiendo, como debiera ser lógico, que lo proyectado debe ser construible. Con este enfoque, el prefabricador se presenta cada vez más como un apéndice del proyecto, al tener inevitablemente que contar con su asistencia técnica en el desarrollo del proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Guía técnica de aplicación del CTE a elementos prefabricados de hormigón – ANDECE [\[+\]](#)
- Guía Autodeclaraciones ambientales de productos prefabricados de hormigón – ANDECE [\[+\]](#)
- Guía BIM para empresas de prefabricados de hormigón – ANDECE [\[+\]](#)
- Máster de construcción industrializada en hormigón [\[+\]](#)
- "Montaje de forjados prefabricados". Revista Obras Urbanas. 2018 [\[+\]](#)
- "Economía circular en los prefabricados de hormigón: hacia el objetivo 'cero residuos'". Revista Cemento Hormigón [\[+\]](#)

## EMPRESAS ASOCIADAS

Relación de fabricantes asociados de ANDECE que declaran fabricar elementos prefabricados de hormigón para forjados, en el momento de edición de esta guía. Seleccionar "Forjados" en el siguiente enlace: <http://www.andece.org/directorio-de-negocios/>

## SOCIOS ADHERIDOS

Relación de socios adheridos de ANDECE que suministran productos y/o servicios directamente relacionados con los elementos prefabricados de hormigón para forjados, en el momento de edición de esta guía: <http://www.andece.org/miembros-adheridos/>