

# Manual de Aligeramiento de Estructuras

Actualizado según EFHE

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS</b>	<b>6</b>
<b>2.1 EVOLUCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.</b>	<b>6</b>
2.1.1 <i>La construcción masiva</i>	6
2.1.2 <i>La evolución de los forjados actuales.</i>	7
2.1.2.1 <i>Estructura pesada</i>	8
2.1.2.2 <i>Estructura aligerada</i>	8
2.1.2.3 <i>Estructura ligera</i>	10
2.1.3 <i>Los forjados con piezas de aligeramiento de EPS</i>	11
<b>3. EL ALIGERAMIENTO EN LA EDIFICACIÓN.</b>	<b>25</b>
<b>3.1 ALIGERAMIENTO DE FORJADOS</b>	<b>25</b>
<b>3.2 COMO ALIGERAR LOS FORJADOS</b>	<b>26</b>
<b>3.2.1 Concarga</b>	<b>26</b>
3.2.1.1 <i>El peso propio.</i>	26
3.2.1.1.1 <i>Tablas de estimación de peso propio</i>	27
3.2.1.1.2 <i>Piezas y bloques aligerantes</i>	35
3.2.1.1.2.1 <i>Piezas de entrevigado con función resistente en forjados unidireccionales</i>	35
3.2.1.1.2.2 <i>Piezas de entrevigado sin función resistente en forjados unidireccionales o piezas aligerantes</i>	35
3.2.1.1.2.3 <i>Piezas aligerantes en forjados reticulares o forjados unidireccionales con nervios hormigonados "in-situ".</i>	42
3.2.1.1.3 <i>Hormigones ligeros</i>	45
3.2.1.1.3.1 <i>Tipos de hormigones.</i>	45
3.2.1.2 <i>Las cargas permanentes.</i>	46
<b>3.2.2 Sobrecargas</b>	<b>46</b>
3.2.2.1 <i>Optimizando las sobrecargas.</i>	46
<b>4. DISEÑO Y EJECUCIÓN</b>	<b>47</b>
<b>4.1 CRITERIOS DE DISEÑO</b>	<b>47</b>
<b>4.1.1 Diseño y dimensionado</b>	<b>51</b>
4.1.1.1 <i>Forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado</i>	51
4.1.1.1.1 <i>Campo de aplicación</i>	51
4.1.1.1.2 <i>Elementos que forman el forjado unidireccional</i>	51
4.1.1.1.3 <i>Elemento resistente</i>	51
4.1.1.1.4 <i>Piezas de entrevigado</i>	52
4.1.1.1.5 <i>Autorización de uso</i>	54
4.1.1.1.6 <i>Condiciones geométricas</i>	55
4.1.1.1.7 <i>Armadura de reparto.</i>	56
4.1.1.1.8 <i>Base de calculo y análisis estructural del forjado.</i>	56
4.1.1.1.8.1 <i>Acciones e hipótesis de carga.</i>	56
4.1.1.1.8.2 <i>Comprobación del Estado Límite de agotamiento frente a esfuerzo cortante.</i>	57
4.1.1.1.8.3 <i>Comprobación del Estado Límite de agotamiento por esfuerzo rasante.</i>	58
4.1.1.1.8.4 <i>Comprobación de la deformación</i>	59
4.1.1.1.9 <i>Disposiciones constructivas</i>	63
4.1.1.1.9.1 <i>Apoyo directo.</i>	63
4.1.1.1.9.2 <i>Apoyo indirecto.</i>	64
4.1.1.1.10 <i>Zonas a macizar</i>	65
4.1.1.1.11 <i>Armaduras superior.</i>	66
4.1.1.1.12 <i>Recubrimiento de armaduras</i>	66
4.1.1.1.13 <i>Enfrentamiento de nervios.</i>	68
4.1.1.2 <i>Forjados unidireccionales con Vigüeta metálica.</i>	69
4.1.1.2.1 <i>Características de los forjados de vigas metálicas.</i>	69
4.1.1.2.2 <i>Cálculo del forjado.</i>	69
4.1.1.2.3 <i>Disposiciones constructivas</i>	75



4.1.1.3. Forjado reticular	76
4.1.1.3.1 Análisis estructural	77
4.1.1.3.2 Pieza aligerante	77
4.1.1.3.3 Nervios.	77
4.1.1.3.4 Capa de compresión.	78
4.1.1.3.5 Canto de la placa.	78
<b>4.2 CONDICIONES DE EJECUCIÓN.</b>	<b>80</b>
4.2.1 Control de calidad.	80
4.2.2 Plan de control.	81
4.2.2.1 Control documental.	81
4.2.2.2 Control de recepción	81
4.2.2.2.1 Elementos resistentes	81
4.2.2.2.2 Las piezas de entrevigado	82
4.2.2.2.3 El hormigón vertido "in-situ"	82
4.2.2.2.4 Armaduras	82
4.2.2.3 Control de ejecución	82
4.2.2.3.1 Comprobaciones de replanteo y geométricas	83
4.2.2.3.1.1 Comprobación de cotas, niveles y geometría	83
4.2.2.3.1.2 Comprobación de tolerancias admisibles.	83
4.2.2.3.2 Apuntalado, sopandas, cimbras y andamiajes	83
4.2.2.3.2.1 Colocación de sopandas	83
4.2.2.3.2.2 Revisión del montaje.	85
4.2.2.3.3 Viguetas	85
4.2.2.3.3.1 Transporte, descarga y manipulación	85
4.2.2.3.3.2 Acopio	85
4.2.2.3.3.3 Identificación	86
4.2.2.3.3.4 Montaje.	86
4.2.2.3.4 Piezas de entrevigado	86
4.2.2.3.4.1 Acopio y almacenaje	86
4.2.2.3.4.2 Identificación	86
4.2.2.3.4.3 Colocación	87
4.2.2.3.4.4 Rendimiento económico.	87
4.2.2.3.5 Armaduras	87
4.2.2.3.5.1 Almacenamiento.	89
4.2.2.3.5.2 Tipo, diámetro y posición	89
4.2.2.3.5.3 Corte y doblado	89
4.2.2.3.5.4 Tolerancias de colocación	89
4.2.2.3.5.5 Recubrimientos y separación entre armaduras. Utilización de separadores y distanciadores	89
4.2.2.3.5.6 Estado de vainas, anclajes y empalmes y accesorios	89
4.2.2.3.6 Transporte, vertido y compactación	89
4.2.2.3.6.1 Tiempos de transporte	89
4.2.2.3.6.2 Condiciones previas al vertido	90
4.2.2.3.6.3 Condiciones de vertido: método, secuencia, altura máxima, etc.	90
4.2.2.3.6.4 Hormigonado en tiempo frío	90
4.2.2.3.6.5 Compactación del hormigón	90
4.2.2.3.6.6 Acabado de superficies	91
4.2.2.3.7 Curado	91
4.2.2.3.7.1 Método aplicado.	91
4.2.2.3.7.2 Plazos de curado.	91
4.2.2.3.7.3 Protección de superficies.	91
4.2.2.3.8 Desmoldeado y descimbrado	91
4.2.2.3.9 Tabiques divisorios	92
4.2.2.3.10 Revestimiento del techo	92
4.2.2.3.11 Fijación de cargas en los forjados	92

4.2.2.4 Documentación de los controles efectuados	92
4.2.2.5 Prevención de Riesgos Laborales	93
4.2.2.5.1 Manipulación manual de cargas	93
<b>4.3 OTRAS MISIONES DE LOS FORJADOS</b>	<b>96</b>
<b>4.3.1 Aislamiento térmico</b>	<b>96</b>
4.3.1.1 Tablas de resistencia térmica de forjados	97
<b>4.3.2 Aislamiento acústico</b>	<b>114</b>
4.3.2.1 Insuficiencia de aislamiento acústico	114
4.3.2.2 Recomendaciones	115
4.3.2.2.1 Procedimientos basados en los pavimentos blandos	115
4.3.2.2.2 Procedimientos basados en pavimentos flotantes	115
4.3.2.2.3 Procedimientos basados en pavimentos sobre losas flotantes	116
4.3.2.2.4 Procedimientos basados en techos colgados	118
4.3.2.2.5 Precauciones constructivas para las losas flotantes	119
<b>4.3.3 Comportamiento frente al agua</b>	<b>121</b>
4.3.3.1 Absorción de agua	121
4.3.3.2 Difusión de vapor de agua.	122
<b>4.3.4 Medio ambiente</b>	<b>123</b>
<b>4.3.5 El EPS y la Salud</b>	<b>123</b>
4.3.5.1.1 Gestión de los residuos	123
4.3.5.2 El reciclado del EPS	123
4.3.5.2.1 Reciclado mecánico	124
4.3.5.2.1.1 Fabricación de nuevas piezas de poliestireno expandido.	124
4.3.5.2.1.2 Incorporación a otros materiales de construcción	124
4.3.5.2.1.3 Mejora de suelos	124
4.3.5.2.1.4 Material auxiliar de compostaje	125
4.3.5.2.1.5 Producción de granza de PS (poliestireno compactado)	125
4.3.5.2.1.6 Sustitutivos de madera	125
4.3.5.2.2 El reciclado químico	125
4.3.5.3 La recuperación energética	125
4.3.5.4 El vertido.	126
4.3.5.5 Los residuos de EPS en el incendio y su eliminación	126
4.3.5.5.1 La limpieza del edificio después del incendio	126
<b>5. APLICACIONES</b>	<b>127</b>
<b>5.1 EDIFICIOS DE NUEVA PLANTA.</b>	<b>127</b>
<b>5.2 REHABILITACIÓN</b>	<b>127</b>
<b>5.3 REFORMA Y AMPLIACIÓN.</b>	<b>127</b>
<b>6. ANEXOS</b>	<b>128</b>
<b>6.1 PRODUCCIÓN DE EPS</b>	<b>128</b>
6.1.1 La materia prima, el poliestireno expandible.	128
6.1.2 La pre-expansión.	129
6.1.3 La maduración o reposo intermedio.	129
6.1.4 La Expansión y el moldeo.	130
<b>6.2 COMPORTAMIENTO DEL EPS EN CASO DE INCENDIO</b>	<b>130</b>
6.2.1 Generalidades	130
6.2.2 Contribución a la propagación del fuego	130
6.2.3 Liberación de calor	130
6.2.4 Humos	131
6.2.5 Propagación de la llama	131
6.2.6 Recubrimientos	132
<b>6.3 CONCLUSIONES</b>	<b>133</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>134</b>



## 1. INTRODUCCIÓN

El poliestireno expandido EPS, es un material conocido por los agentes implicados en la edificación, debido a las diferentes funciones que realiza, especialmente en el campo del aislamiento térmico y a su ya dilatada historia. No obstante, la aplicación en el campo del aligeramiento de estructuras, en el relleno de terrenos con una baja capacidad portante, como árido en hormigones ligeros o en la reducción acústica a ruido de impactos y en forjados no son tan conocidas.

Con el presente Manual, la Asociación Nacional del Poliestireno Expandido ANAPE, pretende aglutinar una serie de conocimientos y experiencias respecto al diseño y la ejecución de estructuras aligeradas con piezas de entrevigado de poliestireno expandido EPS para poder así aproximar a los técnicos de las obras: arquitectos, arquitectos técnicos, aparejadores e ingenieros una guía que les sirva de ayuda en el diseño y la ejecución de las obras, pero también se pretende que sea de utilidad a los promotores, constructores, jefes de obra y capataces que deberán de ejecutarlas así como a las Entidades y Organismos de Control de Calidad, Laboratorios y Oficinas de Control Técnico.

Este Manual ha sido elaborado por el departamento de consultoría de la empresa OCTAU S.L., redactado por Jordi Marrot Ticó, arquitecto técnico, consultor en estructuras y patología de la construcción y Eudald Pérez Mayol arquitecto, con la colaboración en el desarrollo gráfico de Meritxell González Miquel arquitecto técnico y Andrea Parga Vázquez arquitecto, bajo la coordinación de José Manuel Fernández Fernández-Pacheco, ingeniero industrial, departamento de construcción de ANAPE.

## 2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

### 2.1 EVOLUCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

El hábitat de los primeros homínidos fueron refugios lígneos<sup>1</sup> cubiertos con pieles que se desmontaban y trasladaban de un lugar a otro, que junto con las cuevas y cavernas de cada lugar, servían para resguardarse en las épocas más frías.

En el periodo Neolítico (7.000 a.d.C.-2.500 a.d.C) el hombre empieza a cultivar la tierra y domesticar animales reproduciéndolos en cautividad. Con la agricultura y la ganadería, se convierte en sedentario y con ello empieza la construcción de refugios con los materiales de cada lugar.

De esta forma, en las zonas más septentrionales del planeta, con climas muy fríos y bosques abundantes<sup>2</sup> se ha utilizado la madera como material de construcción que, con las mejoras tecnológicas de cada época, ha llegado hasta nuestros días. En el resto del territorio se ha utilizado básicamente la piedra, la cerámica y la tierra para conformar los edificios.

#### 2.1.1 LA CONSTRUCCIÓN MASIVA

La piedra, la cerámica y la tierra prensada (tapial) son materiales que se caracterizan por un buen comportamiento estructural a los esfuerzos de compresión, pero deficiente a los esfuerzos de flexo-tracción. Es por ello que los profesionales de la construcción se las ingeniaron para crear tipologías estructurales con el fin de cubrir espacios con estos materiales, generando bóvedas, arcos, muros, pilares, dinteles y contrafuertes.

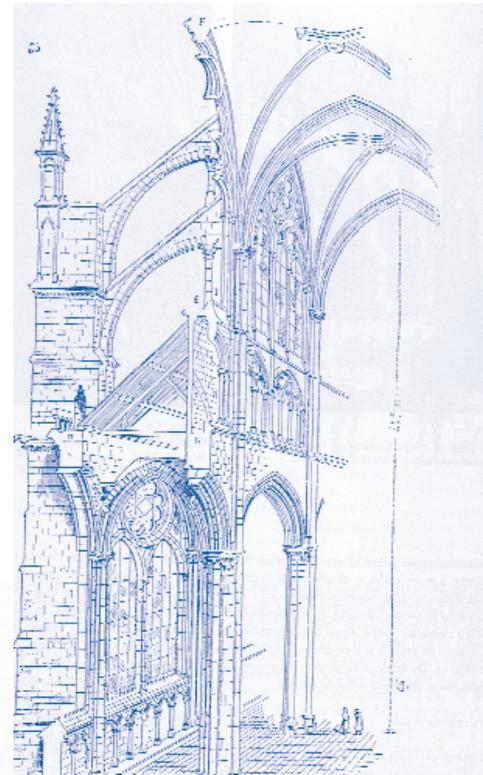
Esta construcción mural se caracteriza por una estructura vertical a base de muros de grandes dimensiones con materiales de una densidad elevada y una estructura horizontal formada con materiales trabajando a compresión y bien aparejados entre ellos.

También la madera ha estado presente en la cubrición de espacios, debido a su buen comportamiento a flexo-tracción, pero es notorio que han sido los materiales pétreos y cerámicos a los que la arquitectura culta occidental les ha conferido esta misión en los edificios emblemáticos. De esta forma se edificaron las basílicas romanas, las iglesias, los monasterios románicos y las catedrales góticas que llevaron a la piedra a su límite estructural.

Con este tipo de construcción mural masiva, el aumento de la masa de los elementos estructurales favorece y mejora todos sus requerimientos.

- La resistencia especialmente a compresión aumenta con la masa.
- Con el espesor y la densidad del material aumenta el aislamiento térmico.
- El aislamiento acústico mejora con la masa.
- La impermeabilización aumenta con la masa.
- Con una mayor masa los edificios son más durables.

Es por todo ello que esta tipología constructiva de construcción masiva, que ha llegado hasta nuestros días ha generado una tendencia a identificar que la masividad es favorable y de esta forma, aún hoy en día, está bastante extendido identificar la densidad de los materiales con la solidez y calidad constructiva o estructural. Curiosamente esto no pasa en los países con una tradición en la construcción en madera donde se ha desarrollado una tipología constructiva ligera.



*Catedral de Amiens según Violet Le Duc*

<sup>1</sup> Ver los estudios del profesor de la cátedra de Composición Arquitectónica de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Florencia (Italia) Giancarlo Cataldi.

<sup>2</sup> Norte de Europa y América, Rusia, regiones alpinas y Japón.



Aunque nuestra tradición constructiva se caracteriza por la masividad y la densidad de los materiales no es menos cierto que el espíritu de superación del hombre y la ambición de crear cada vez edificios mayores, han hecho pensar en aligerar las estructuras, especialmente los elementos horizontales, para cubrir edificios con luces cada vez mayores.

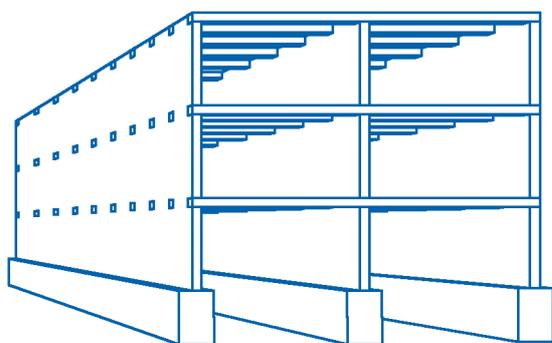
De esta forma encontramos en la historia de la construcción brillantes ejemplos de aligeramiento como el Panteón de Roma que hizo construir Marco Agripa en el 27 a.C. cubierto con una bóveda de 43,30 m. de diámetro interior, aligerada con forniculas interiores y formada con una argamasa de piedra tosca y escoria volcánica.

A lo largo de los últimos 5.000 años de construcción masiva podemos encontrar otros ejemplos singulares de aligeramiento, pero en general este sistema constructivo ha llegado con muy pocas variables hasta el siglo XIX, en que diversos descubrimientos científicos y tecnológicos han llevado a una renovación tecnológica en la construcción.

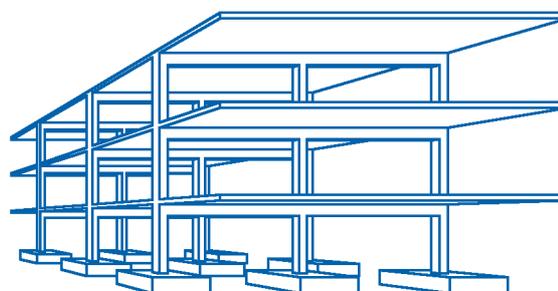


Estos avances llevaron principalmente a la obtención de dos materiales de nueva creación, como fueron el acero y el hormigón armado. También se desarrollaron nuevas propuestas científicas para analizar el comportamiento mecánico y estructural, que acabaron por modificar el sistema constructivo tradicional<sup>3</sup> y de esta forma se estableciese un nuevo modelo estructural, la estructura porticada.

Este nuevo sistema constructivo provocó un cambio profundo en la forma de diseñar y ejecutar la arquitectura ya que, además de utilizar unos nuevos materiales con prestaciones y comportamientos diferentes a los tradicionales, ha supuesto una pérdida de la homogeneidad que aportaba la estructura, dado que ella sola, configuraba, prácticamente todo el edificio. La nueva tipología constructiva es heterogénea y cada elemento cumple una función específica. La estructura soporta el edificio, el cerramiento protege<sup>4</sup>, la cubierta impermeabiliza, etc...



*Estructura mural*



*Estructura porticada*

## 2.1.2 LA EVOLUCIÓN DE LOS FORJADOS ACTUALES

Desde un punto de vista de análisis tecnológico se puede comprobar que, con el paso de las estructuras murales a las porticadas, las misiones de los forjados han variado. Mientras que la misión principal, de los forjados tradicionales de madera y en los primeros forjados metálicos, era transmitir por sus extremos las acciones verticales que recibían a las estructuras verticales, en los forjados de las estructuras porticadas de hormigón armado, además de transmitir las acciones de los forjados, estos deben de arriostrar la estructura vertical, mucho más esbelta, dando, de esta forma, estabilidad al conjunto.

<sup>3</sup> Construcción masiva mural.

<sup>4</sup> Impermeabiliza, aísla térmicamente y acústicamente, cierra el espacio interior respecto al exterior y conforma la composición arquitectónica exterior.

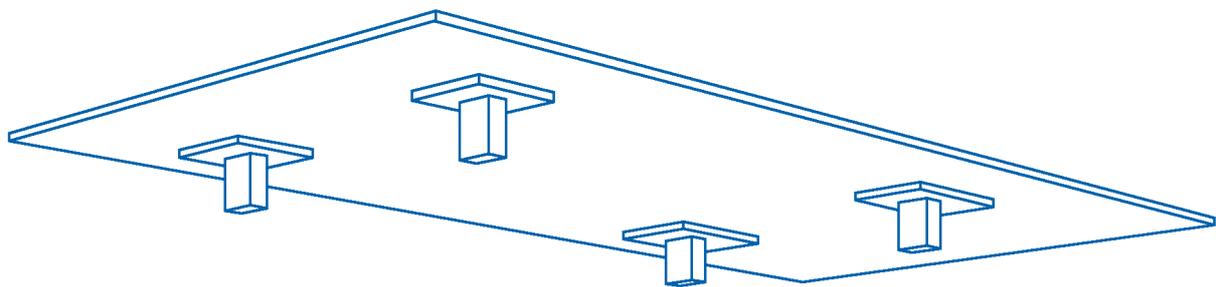
Esta mayor cantidad de misiones que deben de realizar los forjados actuales ha supuesto un aumento en su masa, con un canto mayor, en el espesor de la capa de compresión, de los nervios transversales, etc...

Una de las diversas formas por las que se pueden clasificar los forjados podría ser por su masa. De este modo podríamos diferenciar entre estructuras pesadas, estructuras aligeradas y estructuras ligeras.

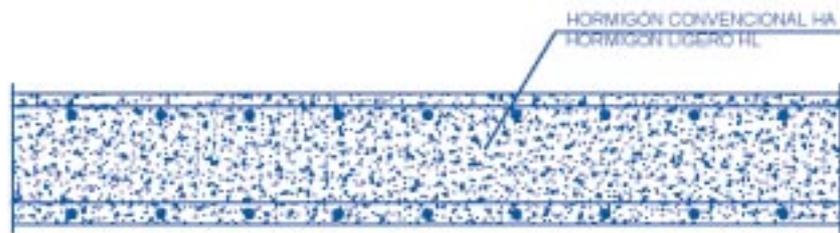
### 2.1.2.1 ESTRUCTURA PESADA

La estructura pesada esta diseñada con una estructura vertical porticada y forjados sin aligeramiento. Como aplicación principal se utiliza en edificios con sobrecargas de uso importante y luces superiores a los 6,5 metros; edificios de aparcamiento, administrativos, docente, industriales, etc. Con un peso propio superior a 350 kp/m<sup>2</sup>.

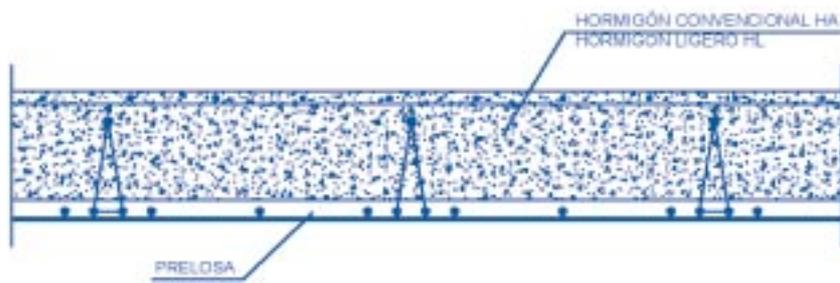
Tipos de forjados pesados:



- Losa armada



- Prelosa

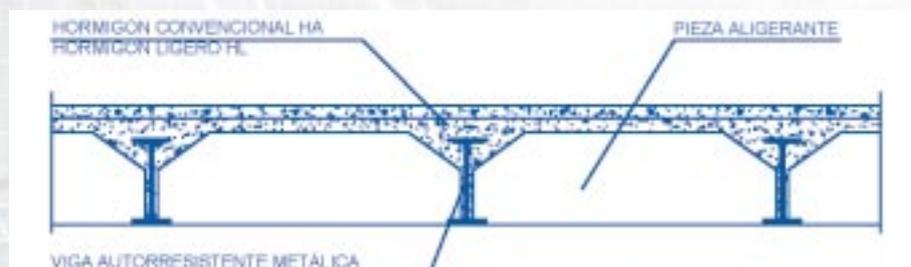


### 2.1.2.2 ESTRUCTURA ALIGERADA

La estructura aligerada esta diseñada con una estructura vertical porticada y forjados aligerados. Como aplicación principal se utiliza en edificios con sobrecargas de uso normales y luces inferiores a los 6,5 metros. Su aplicación principal es la edificación residencial de todo tipo. Peso propio entre 350 kp/m<sup>2</sup> y 100 kp/m<sup>2</sup>.

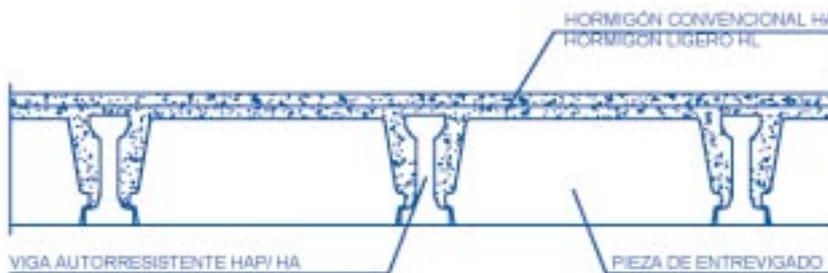
Tipos de forjados aligerados:

- Forjado unidireccional con vigueta autoresistente metálica.

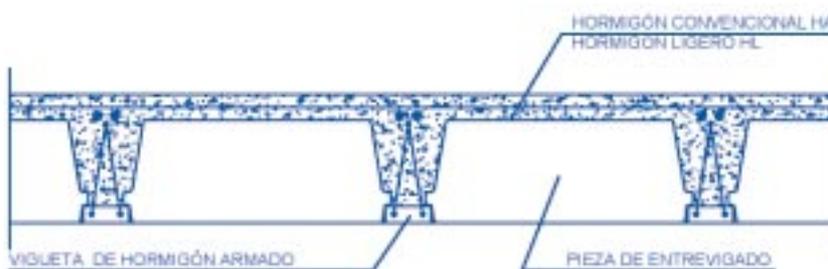




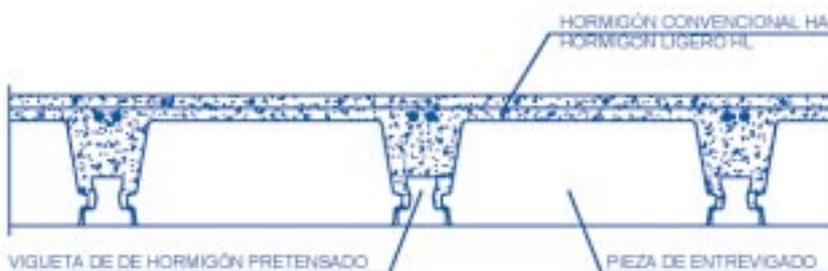
- Forjado unidireccional con vigueta autoresistente de hormigón armado u hormigón armado pretensado.



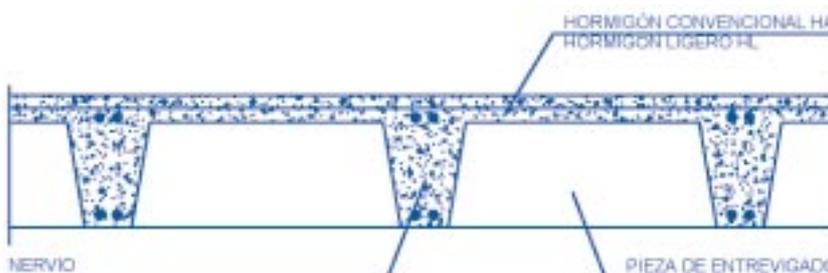
- Forjado unidireccional con vigueta armada.



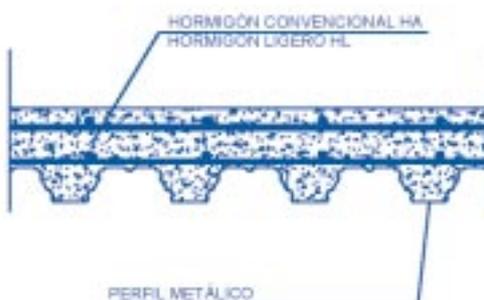
- Forjado unidireccional con vigueta pretensada.



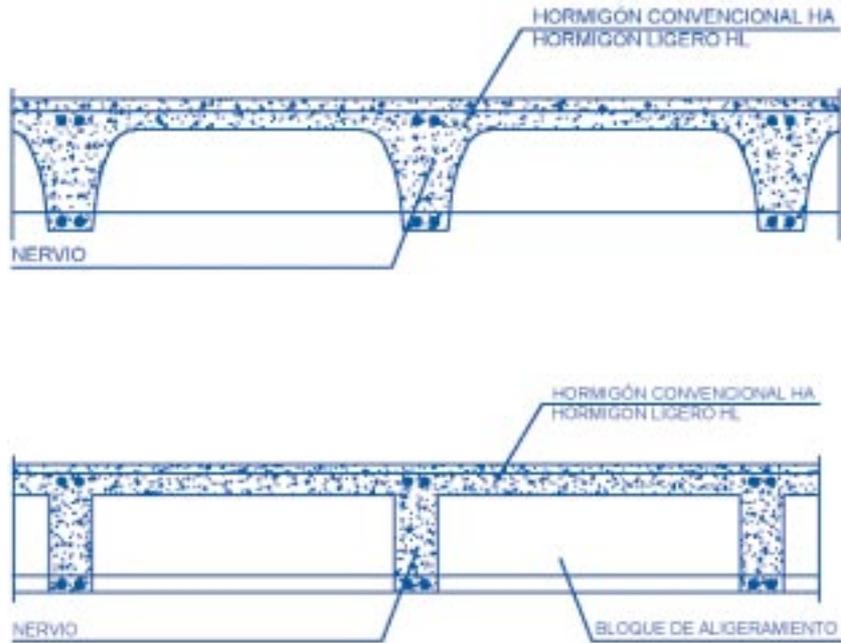
- Forjado unidireccional con nervio de hormigón armado vertido "in situ".



- Placa armada aligerada en dos direcciones ortogonales con casetón recuperable. (Forjado reticular).



- Placa armada aligerada en dos direcciones ortogonales con pieza aligerante no recuperable. (Forjado reticular).

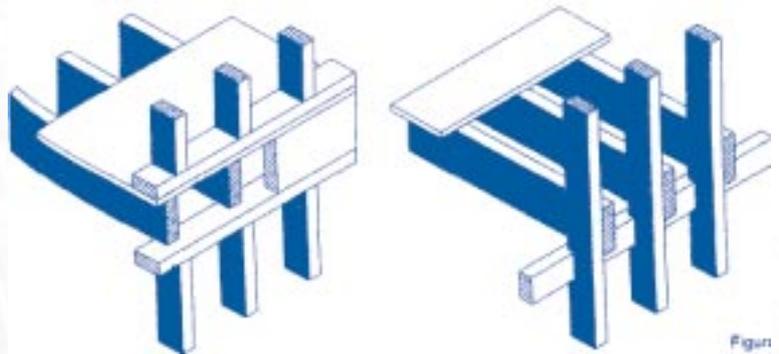


### 2.1.2.3 ESTRUCTURA LIGERA

La estructura ligera esta diseñada con estructuras de materiales ligeros. Su uso principal es la edificación industrializada en países con una tradición constructiva ligera. Peso propio inferior a 100 kp/m<sup>2</sup>

Tipos de estructura ligera:

- Edificación en Madera.
- Ballon-Frame.
- Platfrom Frame.
  
- Estructuras metálicas.  
Perfiles laminados en caliente.  
Perfiles laminados en frío.  
Perfiles conformados.
  
- Forjado unidireccional con chapa metálica nervada (colaborante o encofrado perdido).
  
- Estructuras tensadas. (tensigrity)  
Tensigrity= Tracción integral



Las estructuras tensadas, "Tensigrity", son estructuras reticulares, espaciales, pretensadas de barras comprimidas discontinuas y cables traccionados continuos. No disponen de elementos a flexión y con ello se confeccionan básicamente cubiertas de superficies importantes.



### 2.1.3 LOS FORJADOS CON PIEZAS DE ALIGERAMIENTO DE EPS

El poliestireno expandido, al igual que el resto de plásticos, son fruto de las innovaciones científicas y tecnológicas del siglo XX. Su descubridor fue el Doctor Fritz Stastny, de los laboratorios BASF para el desarrollo de materiales plásticos en Ludwigshafen (Alemania). Al igual que pasa con muchos de los grandes hallazgos científicos, el descubrimiento del EPS fue fruto del azar. Él mismo lo describió así en su diario de laboratorio, del que a continuación extraemos algunos fragmentos:

*“A 18 de octubre de 1949, procedo a preparar una mezcla de 250 gr. de estireno/poliestireno 6:4 35gr. de éter y 3 gr. de peróxido de benzoilo y la dejo reposar en un recipiente metálico” (El éter de petróleo es una mezcla de hidrocarburos volátiles entre los cuales se encuentra el pentano).*

*“A 1 de diciembre de 1949, la solución se ha convertido en un disco rígido y translucido”. (Se había conseguido integrar una sustancia volátil, el éter de petróleo, en la masa del polímero).*

*“Coloco el disco en el secador a temperatura dejándolo dentro de su recipiente original, aunque con la tapa ligeramente apretada”. Su intención era observar los resultados pocas horas después. Sin embargo por descuido el recipiente se quedó en el secador toda la tarde y la noche siguiente. Al volver al día siguiente por la mañana el disco rígido y translucido se había convertido en una pequeña torre de espuma de unos 25 cm. de altura. En su cúspide se encontraba la tapa del recipiente inclinada hacia un lado, asemejándose a una boina como las utilizadas en el país vasco español”.*



La primera patente del producto fue extendida a nombre de BASF, donde figuraban como inventores el Dr. Fritz Stastny y el jefe de su departamento el Dr. Rudolf Gäth y se presentó el 28 de febrero de 1950, fecha en que se considera formalmente el inicio del poliestireno expandido. En los años siguientes, él mismo y su equipo desarrollarían la expansión con vapor de agua, la polimerización en suspensión para la obtención de perlas, la transformación en dos fases (preexpansión y sintetización) y, curiosamente la optimización del contenido de gas expandente; el 6% que aún se mantiene hoy en día. A partir de la patente del producto se empiezan a desarrollar aplicaciones para el nuevo material. Se transforma mediante mecanizado y moldeado y se obtienen aplicaciones diversas especialmente en los campos del aislamiento térmico, empaque, conservación y transporte de alimentos, fabricación de moldes, árido para hormigones y aplicaciones diversas en el campo de la construcción, entre las que se encuentra las piezas de entrevigado y los bloques aligerantes perdidos.

En España una de las primeras empresas dedicada a la transformación del EPS fue Porex Hispania S.A., con diversos centros de producción y delegaciones cubriendo todo el territorio español. La primera aplicación documentada del poliestireno expandido, como pieza de entrevigado, fue aligerando una sección de hormigón, la encontramos en la cubierta del edificio Urumea, el año 1969, obra de los arquitectos Marquet-Unzurrunzaga-Zulaica y en la que colabora en el diseño de la fachada el arquitecto Rafael Moneo.

Posteriormente se desarrollan diversas aplicaciones con bloques de EPS para forjados reticulares, forjados unidireccionales con vigueta de hormigón armado, semivigueta, vigueta metálica, con hormigón vertido “in-situ”, sin rotura y con rotura de puente térmico, etc...



Edificio URUMEA. arquitectos; Marquet-Unzurrunzaga-Zulaica San Sebastián (Año 1969) Constructora: Elosegui y Querejeta S.A.

Cada una de estas aplicaciones se patentaron y con ellas se han realizado varios millones de metros cuadrados de estructura en España, aprovechando las ventajas de aligeramiento y aislamiento térmico.

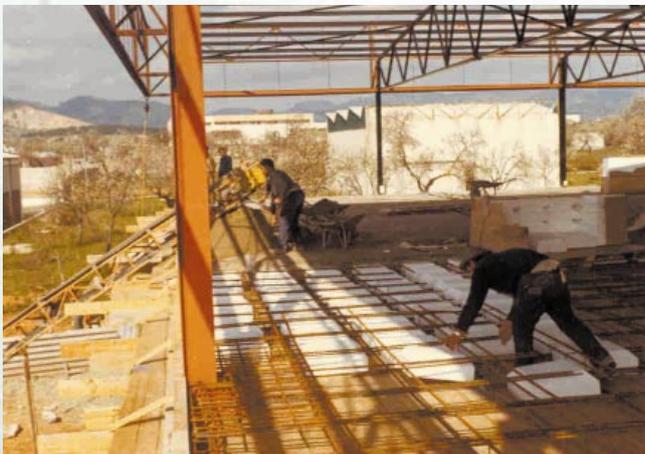
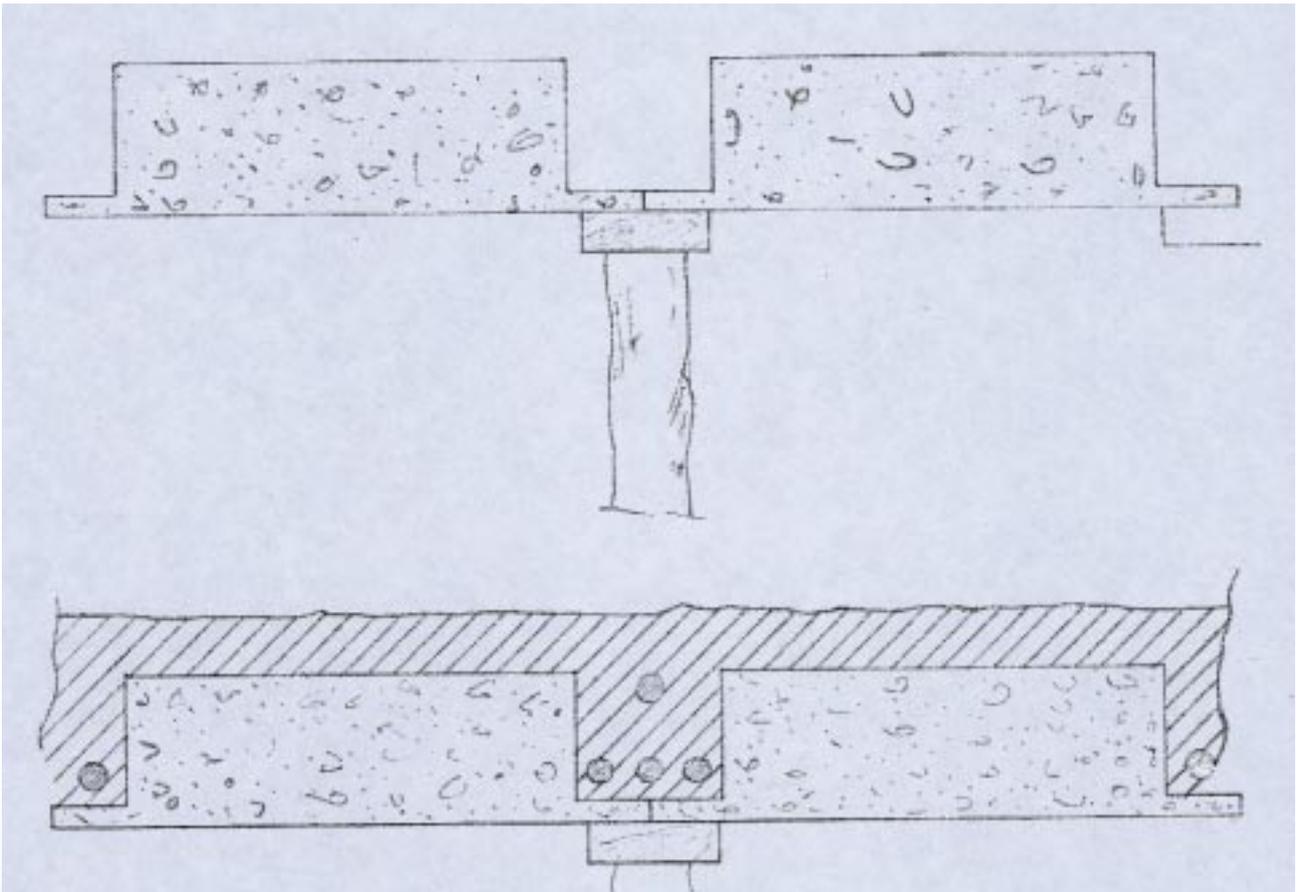
En el año 1996 el poliestireno expandido es reconocido, por la Instrucción EF-96 de forjados unidireccionales de hormigón armado y pretensado, como uno de los materiales adecuados para su uso como pieza de entrevigado de forjados unidireccionales de hormigón armado.

A continuación se reproducen diversos modelos patentados, a finales de los años 60 y mediados de los 70 con piezas de entrevigado de EPS.

MODELO DE UTILIDAD Nº 159.009.

Objeto: "Pieza de encofrado perdido para la formación de techos forjados y reticulados".

Titular: Porex Hispania, S.A.





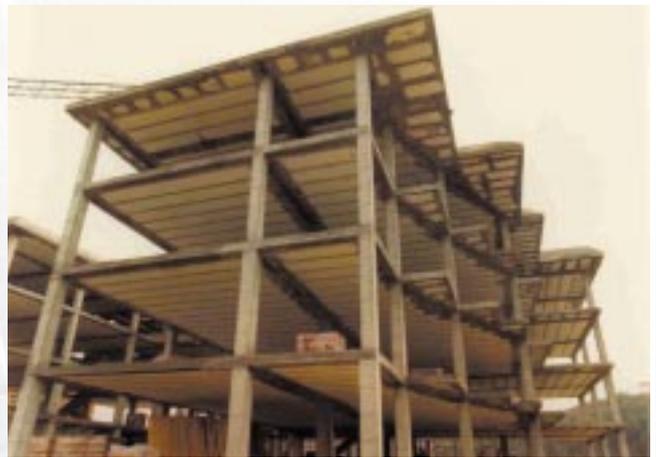
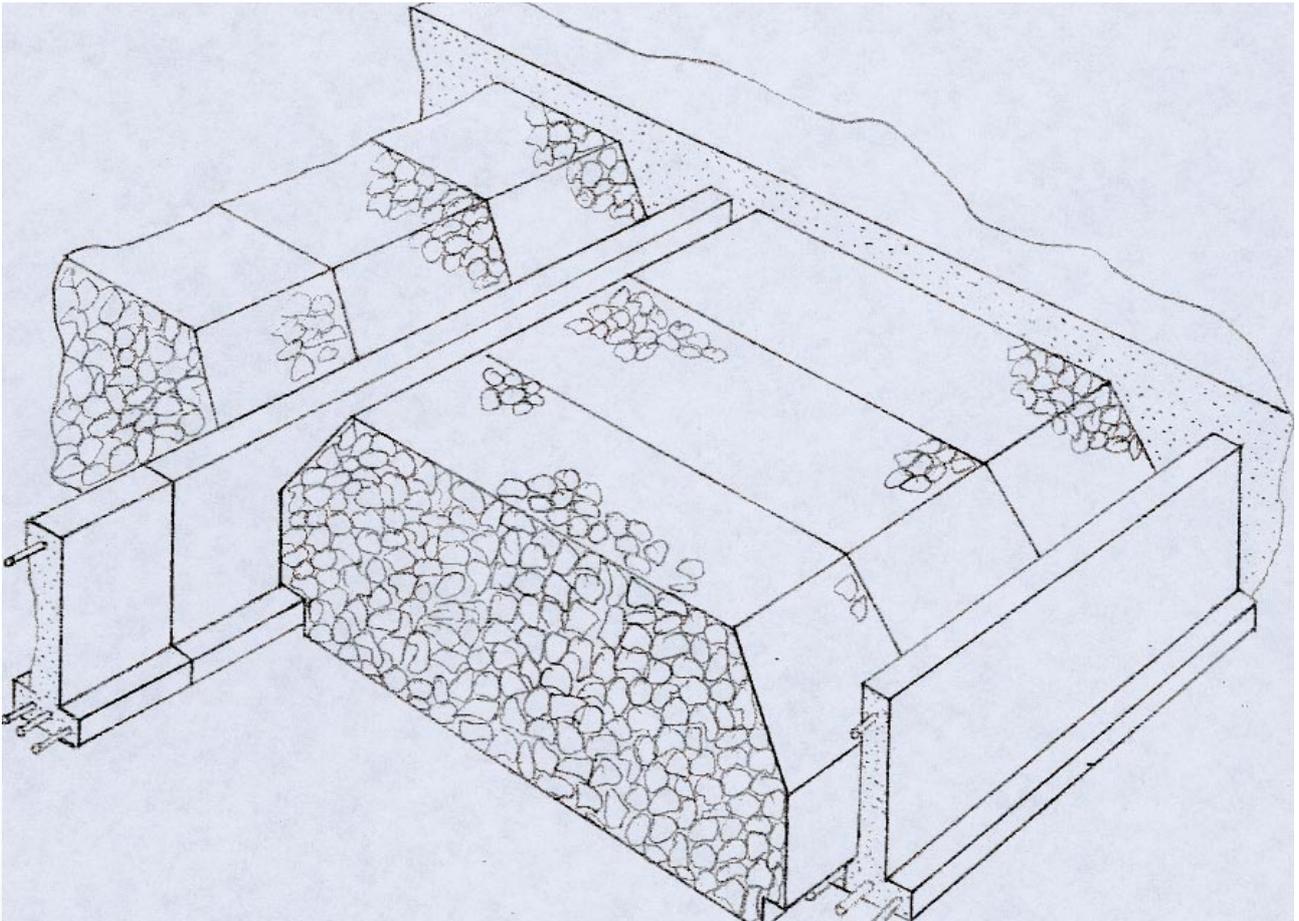
MODELO DE UTILIDAD Nº 154.613.

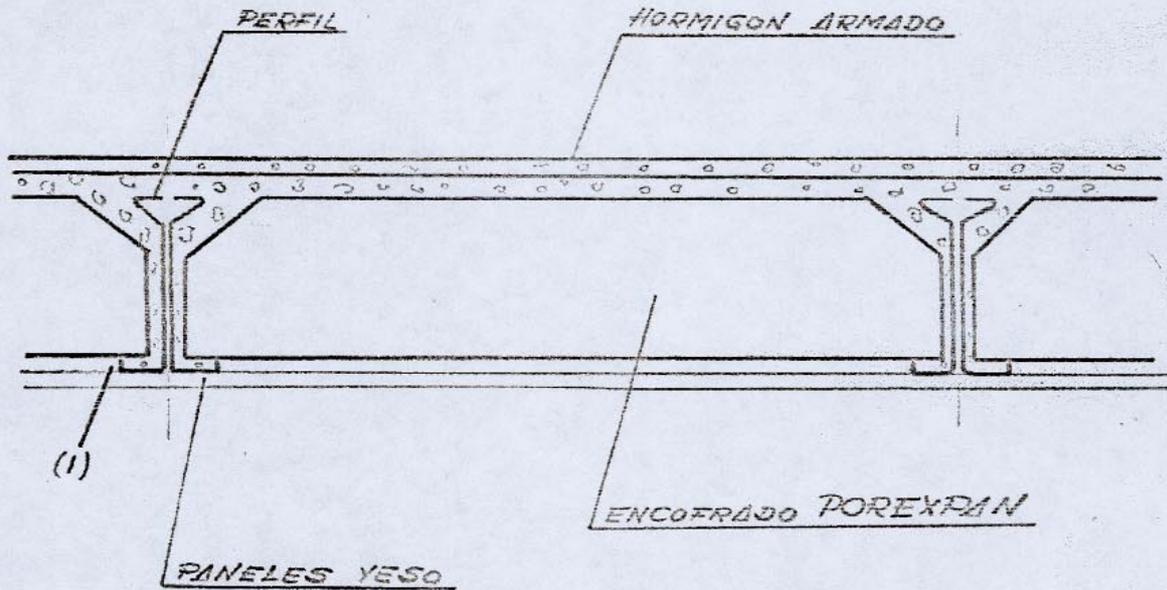
Objeto: "Pieza modular para la formación de pisos de hormigón".

Titular: Porex Hispania, S.A.

Fecha solicitud: 12.12.69.

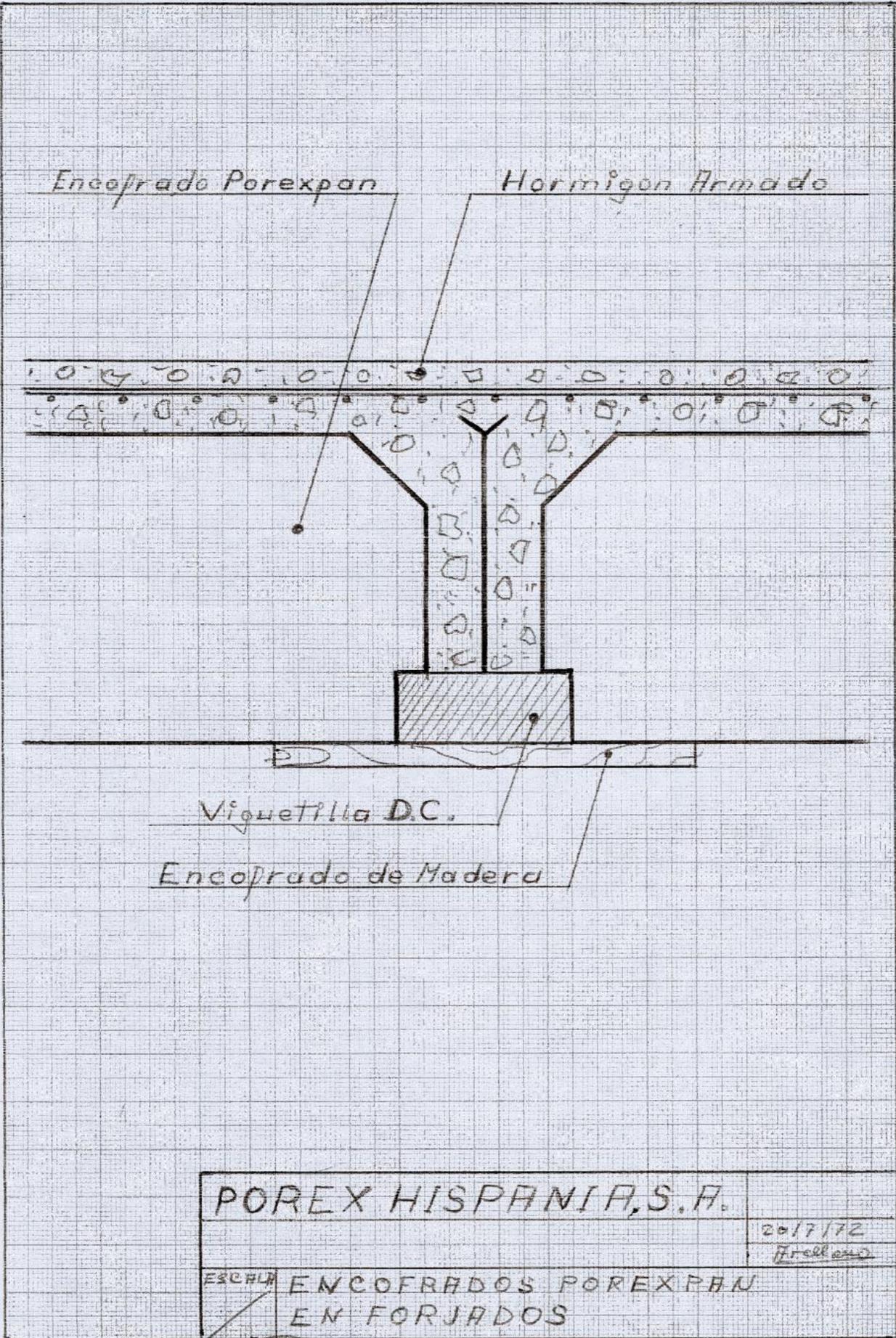
Fecha concesión: 16.2.71.



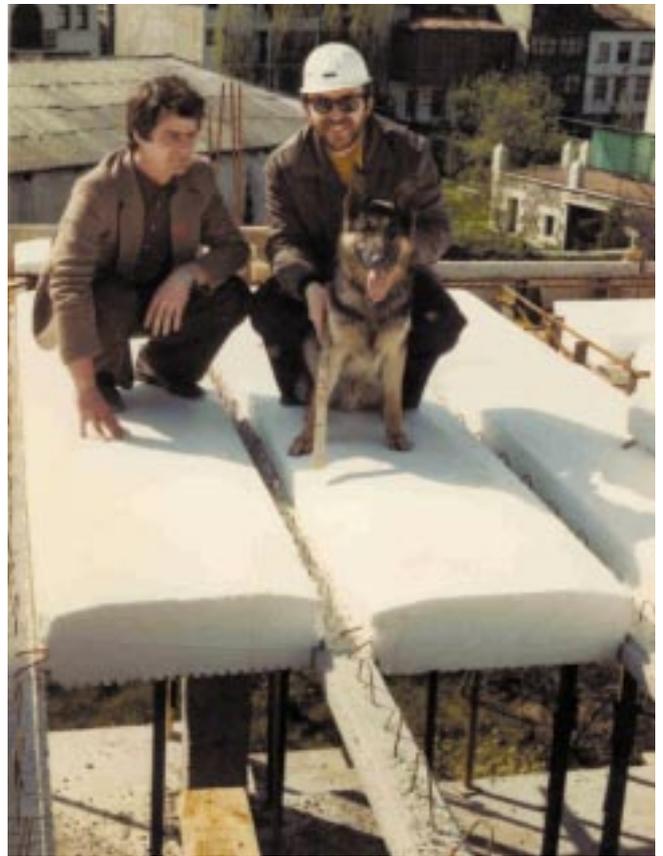


(1) ANTES DE ECHAR EL HORMIGON DEBERAN COLOCARSE ALAMBRES GALVANIZADOS O SIMILARES, FIJADOS A LOS PERFILES, PARA LA SUSTENTACION DE LOS PANELES DE YESO.

POREX HISPANIA, S.A. BARCELONA.		F-66
		17.4.71
ESCALA	ENCOFRADOS POREXPAN EN PERFILES	



EXAKTOR MARCA REGISTRADA



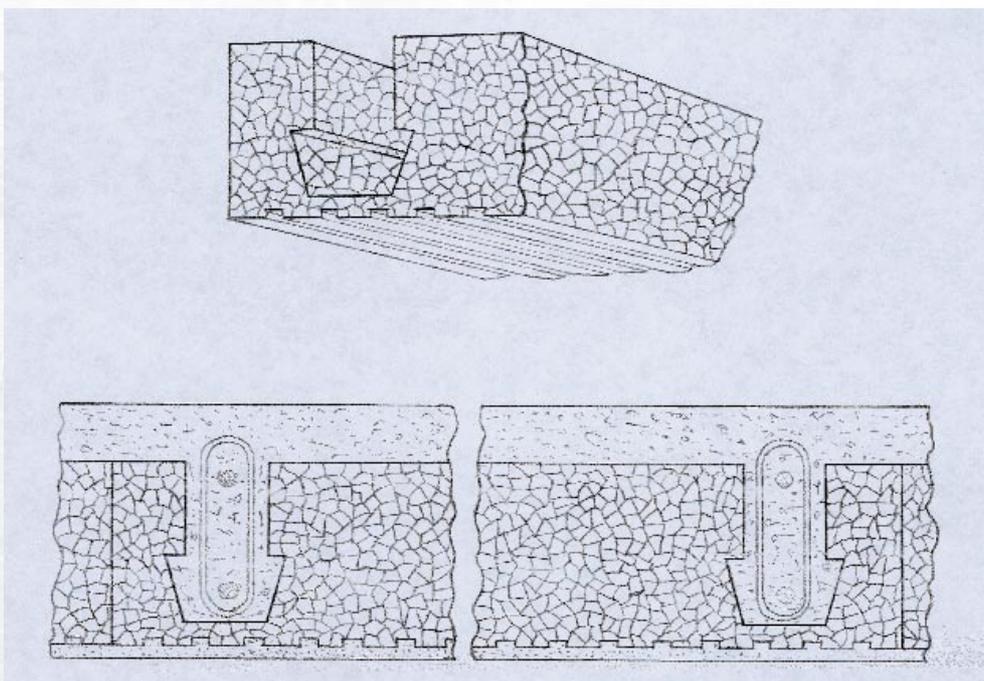
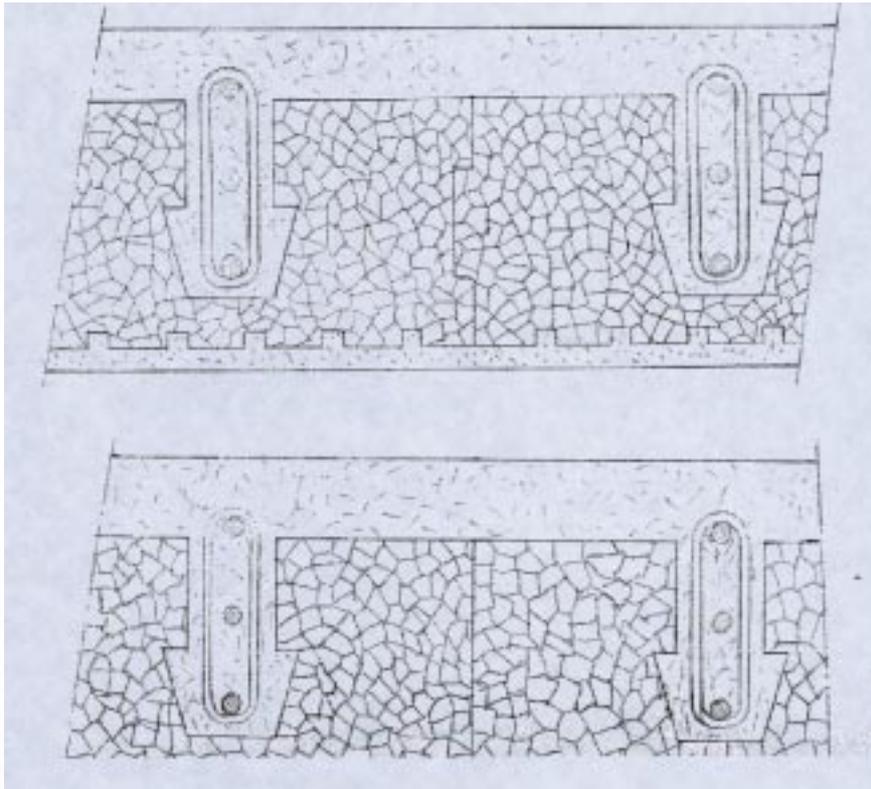
PATENTE DE INTRODUCCION Nº 382.534.

Objeto: "Nuevo sistema de forjado de pisos".

Titular: Porex Hispania, S.A.

Fecha solicitud: 28.7.70

Fecha concesión: 21.9.72



MODELO DE UTILIDAD N° 189.429.

Objeto: " Pieza modular para la formación de pisos de hormigón"

Titular: POREX HISPANIA.S.A.

Fecha solicitud: 24.2.73

Fecha concesión: 5.6.74

FIG. 1

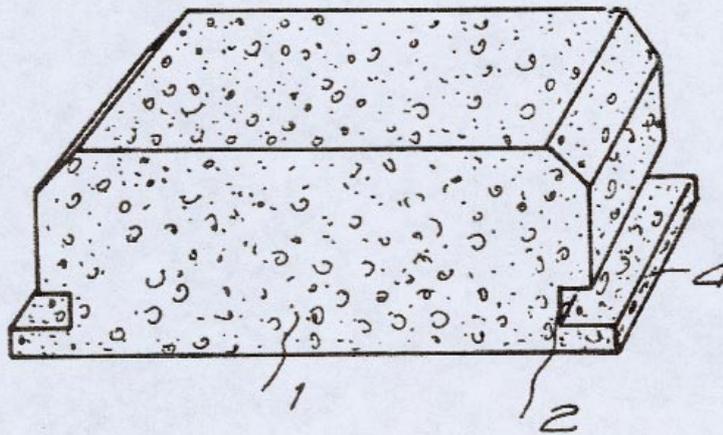
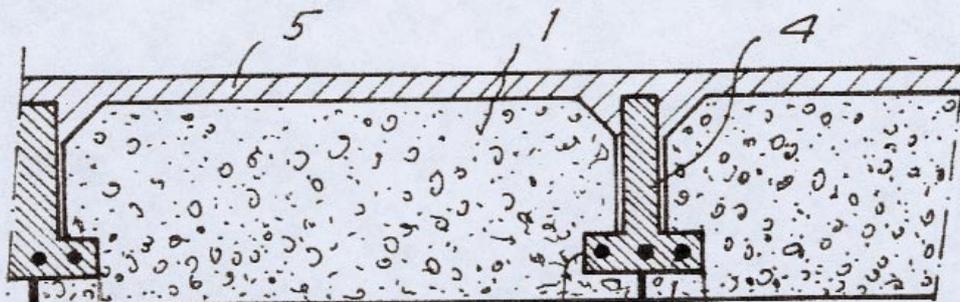


FIG. 3



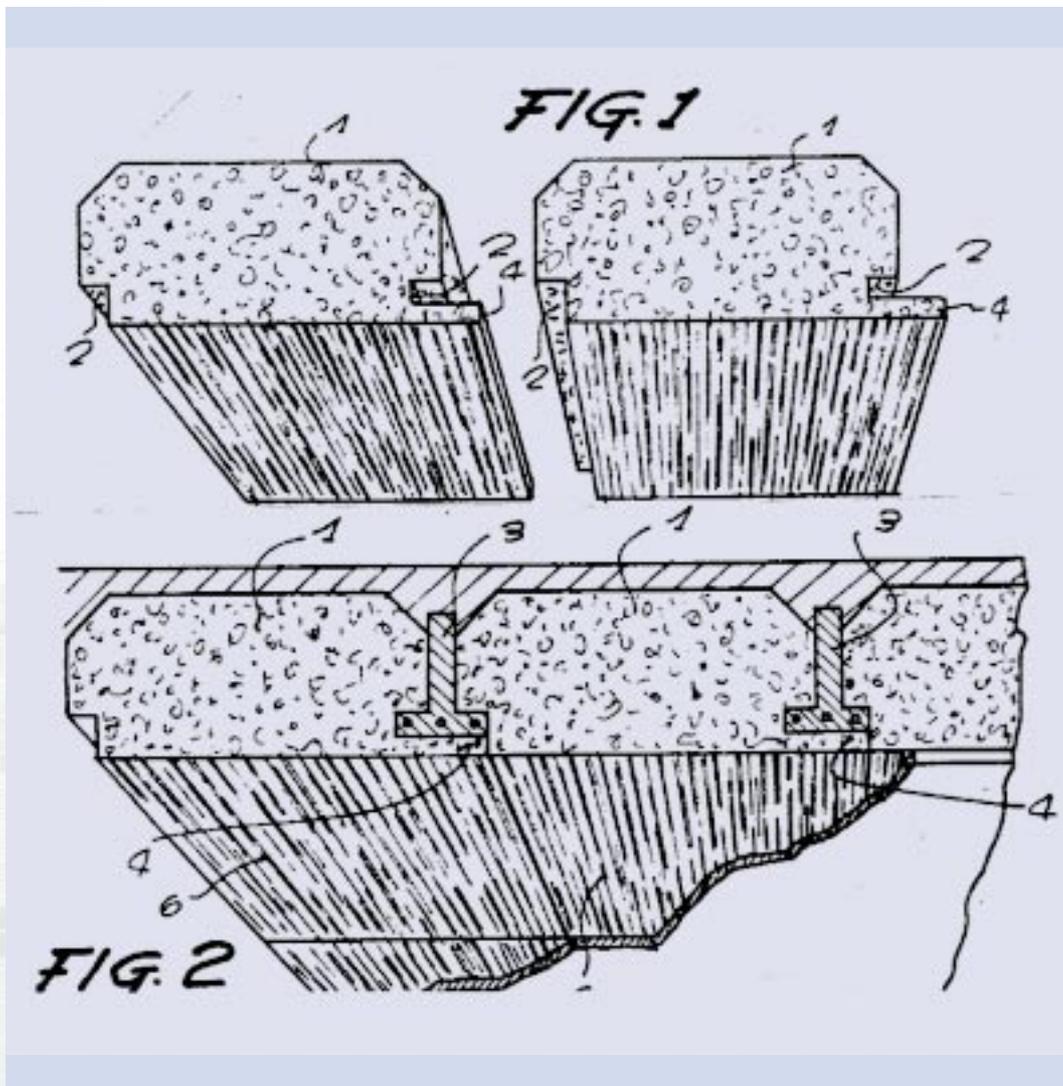
MODELO DE UTILIDAD N° 212.974.

Objeto: "Bovedilla"

Titular: Don Jorge Martorell Puig

Fecha solicitud: 4.6.75

Fecha concesión: 27.7.76



MODELO DE UTILIDAD Nº 215.217.

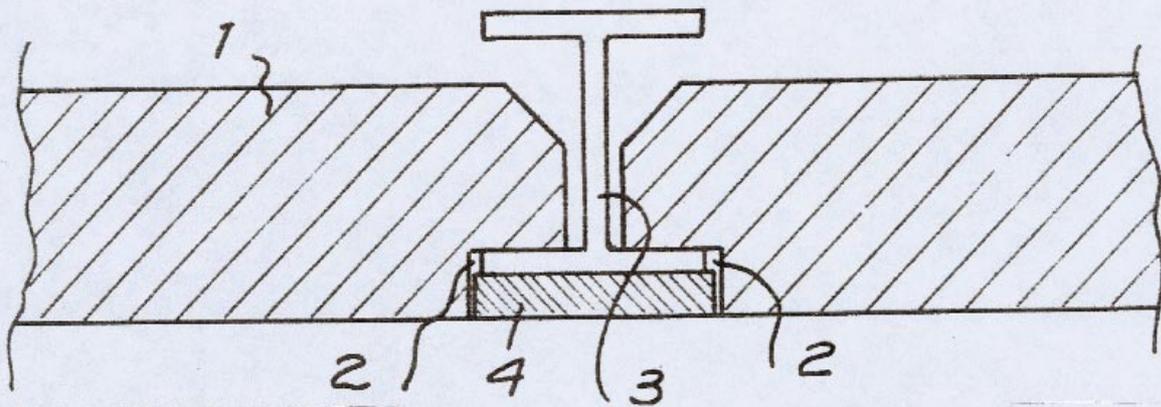
Objeto: "Techo"

Titular: Don Jorge Martorell Puig

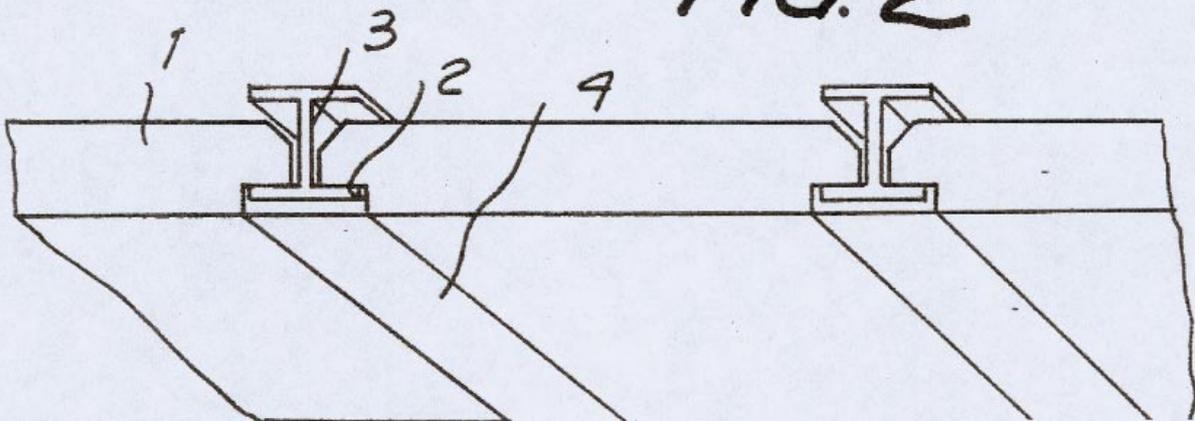
Fecha solicitud: 18.9.75

Fecha concesión: 26.10.76

**FIG. 1**



**FIG. 2**



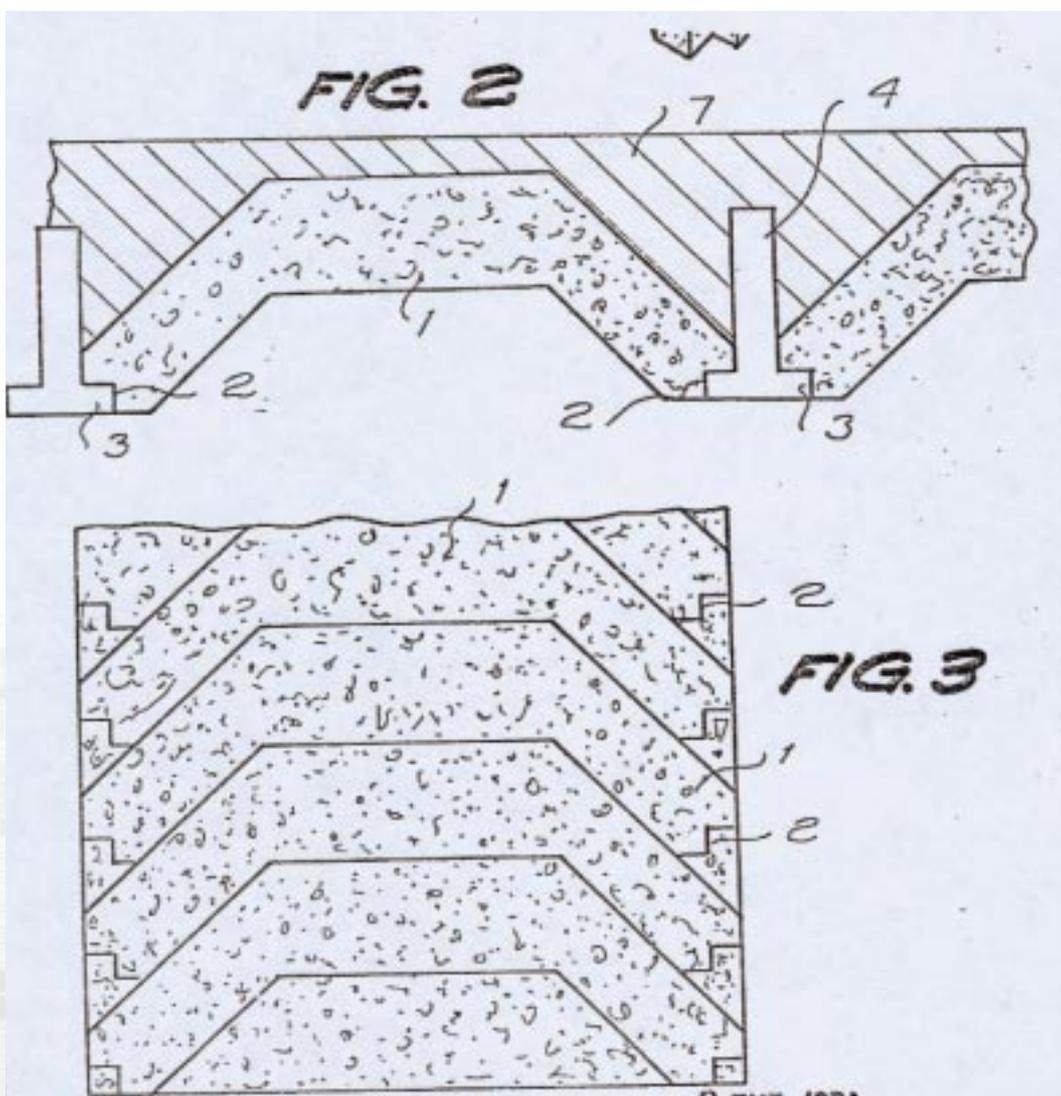
Modelo de utilidad nº 199.704 "Bovedilla para construcción".

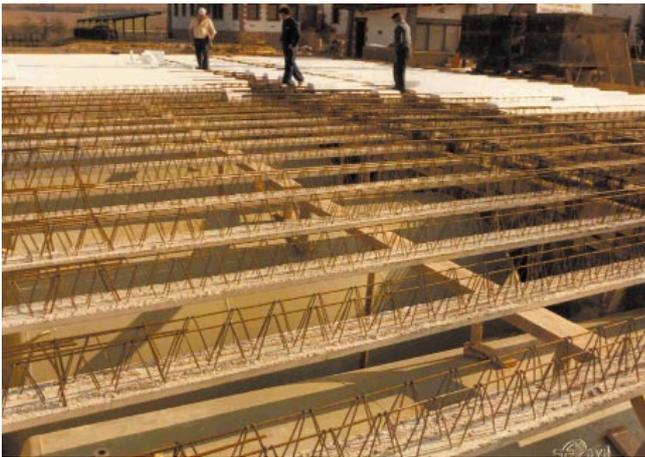
Objeto : "Bovedilla para la construcción".

Titular: Jorge MARTORELL PUIG

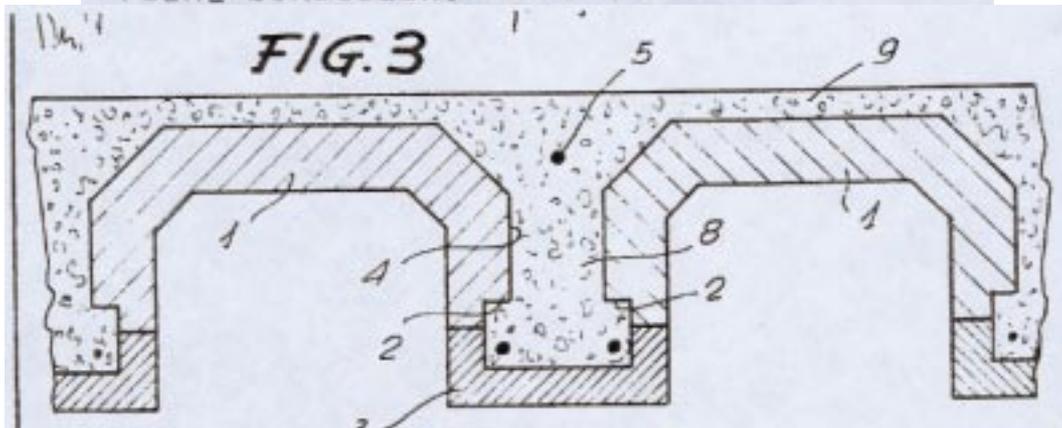
Fecha solicitud: 3-1-74

Fecha concesión: 27.10.75

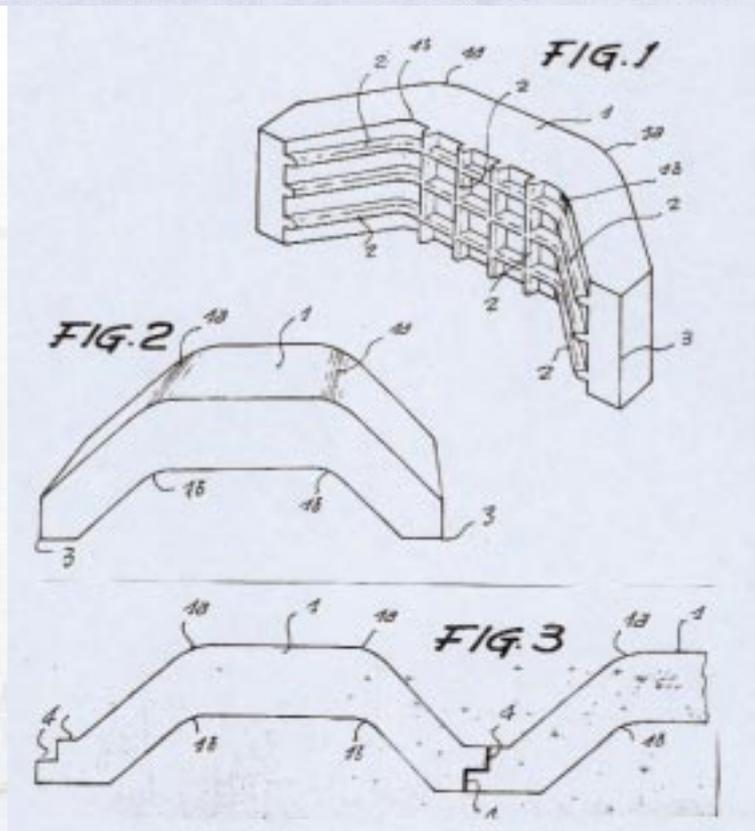




MODELO UTILIDAD Nº 233.071  
 Objeto: Bovedilla compuesta.  
 Titular: Porex Hispania, S.A.  
 Fecha solicitud: 2-1-78  
 Fecha concesión: 20.7.78



MODELO UTILIDAD Nº 230.240  
 Objeto: Bovedilla para la construcción  
 Titular: Jorge Martorell Puig  
 Fecha solicitud: 30-7-77  
 Fecha concesión: 4-3-78





### 3. EL ALIGERAMIENTO EN LA EDIFICACIÓN

El objetivo principal del aligeramiento, es el de **optimizar los recursos** y **reducir el coste económico** de la construcción manteniendo las condiciones funcionales, estéticas y de seguridad previstas.

El aligeramiento de forjados permite reducir las dimensiones de los elementos que lo forman resistiendo, al mismo tiempo, las mismas acciones consideradas y reduciendo su coste económico. Pero ésta no es la única misión del aligeramiento de estructuras ya que también se consiguen una serie de ventajas tecnológicas en diversos aspectos como son:

#### 1. En fase de diseño

- El aligeramiento del peso propio del forjado comporta una reducción de la deformación del forjado. Con ello se consigue reducir el riesgo de lesiones en tabiquerías rígidas causadas por la deformación de los forjados.
- La reducción del peso propio comporta una reducción de cargas, lo cual provoca una reducción del armado en jácenas, pilares y cimientos, que no siendo muy importante económicamente si comporta una optimización de secciones y de disminución de sollicitaciones mecánicas.

#### 2. En fase de ejecución

El utilizar piezas más ligeras, comporta:

- Una reducción de costes en el transporte y la manipulación mecánica.
- Una reducción de costes en recursos humanos al mejorar el rendimiento.
- Una facilidad de manipulación al ser piezas muy ligeras y sin cantos cortantes ni punzantes.
- Una mejora en la calidad del trabajo, al reducir la fatiga del operario en el manejo de cargas mas livianas.
- Una reducción de apuntalamientos, especialmente en la colocación de sopandas en forjados semiresistentes.

#### 3. Un mejor comportamiento antisísmico

- Al reducir la masa de la estructura se reduce la deformación horizontal.

### 3.1 ALIGERAMIENTO DE FORJADOS

Para comprobar la necesidad del aligeramiento, desde un punto de vista tecnológico, veamos el siguiente ejemplo.

Analicemos una losa maciza de hormigón armado de 1 metro de ancho, canto  $c$  y una longitud "l" que se soporta a si misma, sin ninguna sobrecarga, obtenemos los siguientes datos:

- Momento flector máximo ( $M_f$ ):

$$M_f = q \cdot l^2 / 8 = 2,5 \cdot d \cdot P / 8 = 1/3,2 \cdot d \cdot P$$

$M_f$  = momento flector máximo

$q$  = carga total

$l$  = longitud de cálculo

$d$  = canto total

- Momento resistido por la losa ( $M_s$ ):

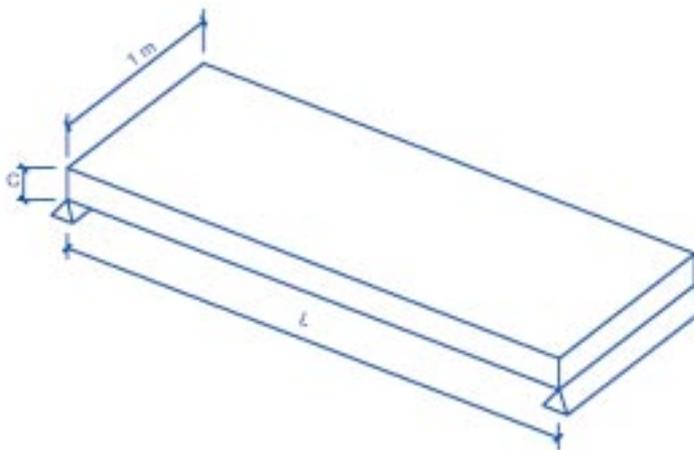
$$M_s = 0,35 \cdot a \cdot c^2 \cdot \sigma = 0,35 \cdot 1 \cdot (0,9d)^2 \cdot \sigma$$

$M_s$  = momento resistido por la losa

$a$  = ancho de la losa

$c$  = canto útil

$\sigma$  = tensión admisible (expresada en  $Tn/m^2$ )



La losa resistirá mientras no supere el momento flector máximo ( $M_f \geq M_s$ ):

$$0,35 \cdot l \cdot (0,9d)^2 \cdot \sigma \geq 1/3,2 \cdot d \cdot P$$
$$0,28 \cdot d^2 \cdot \sigma \geq 1/3,2 \cdot d \cdot P$$

Si la esbeltez es  $\lambda = l / d$

$$l \leq 0,9 \cdot \sigma / \lambda$$

La tensión de servicio admisible de un hormigón H-200  $\approx 800 \text{ Tn/m}^2$

$$l \leq 720 / \lambda$$

para una esbeltez<sup>5</sup>  $\lambda \approx 20$ ,  $l \leq 36 \text{ m}$ .

Como se puede observar la losa armada, que se sostiene a si misma, tiene un máximo de luz  $l$  de 36 m, que aunque es una luz importante y superior a las luces mas frecuentes en edificación se pone de manifiesto que la sollicitación debida al peso propio de una losa maciza crece con el cubo de la luz para una esbeltez dada, mientras que la resistencia solo lo hace con el cuadrado de la luz, y por ello el aligeramiento ayuda a restablecer el equilibrio entre ambos crecimientos, motivo por el que es necesario el aligeramiento del peso propio.

- Momento flector máximo;

$$M_f = (1/3,2) \cdot (P / \lambda)$$

- Momento resistido por la losa;

$$M_s = 0,28 \cdot \sigma \cdot (P / \lambda)$$

## 3.2 COMO ALIGERAR LOS FORJADOS

Las formas de aligerar en edificación son básicamente tres:

1. Reducir las densidades de los materiales que forman parte del edificio.
2. Aprovechar las características tensionales de los materiales compuestos (hormigón pretensado o postensado).
3. Optimizar el diseño arquitectónico.

El objetivo de este Manual es el de dar a conocer la aplicación del poliestireno expandido como pieza aligerante en la formación de forjados, incidiendo de este modo en el primero de los apartados anteriores.

### 3.2.1 CONCARGA

Se llama concarga, a la suma de los pesos cuya magnitud y posición es constante a lo largo del tiempo. Está formada por el peso propio y la carga permanente.

#### 3.2.1.1 EL PESO PROPIO

El peso propio es la carga debida al peso del elemento resistente. Su determinación, en el proceso de cálculo, se estima inicialmente, pudiendo para ello utilizarse tablas y/o fórmulas empíricas, o datos de estructuras construidas de características semejantes<sup>6</sup>. Con las dimensiones calculadas se debe de verificar el peso propio real del elemento y se rectificaran, si es preciso los cálculos basados en la estimación.

#### **Comentario:**

*De forma general, se puede establecer que el peso propio representa aproximadamente el 50% de la carga total del edificio.*

<sup>5</sup> La esbeltez es la relación entre la longitud y el canto; tabla 50.2.2.1 de la EHE

<sup>6</sup> Artículo 2.4 de la NBE-AE-88 Acciones en la Edificación.



### 3.2.1.1.1 TABLAS DE ESTIMACIÓN DE PESO PROPIO

Para determinar el peso propio de los forjados unidireccionales realizados con elementos prefabricados o semiprefabricados, se debe de consultar las fichas técnicas de la autorización de uso de cada fabricante. En ellas se establece entre muchos otros datos de interés, los materiales que forman el forjado y el peso propio del mismo en función de los interjes.

En el caso de forjados reticulares formados con cubetas recuperables y forjados de placas alveolares, se debe utilizar los datos facilitados por los mismos fabricantes.

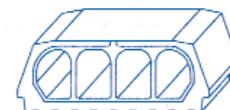
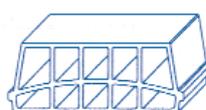
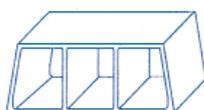
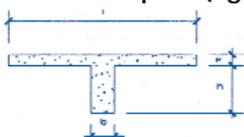
En el resto de casos se puede estimar el peso propio en:

- La tabla 2.5 de la NBE AE 88 Acciones en la Edificación.
- La NTE-Estructuras.
- Las tablas de la Asociación de Consultores de Estructuras de Cataluña. (ACE)

Como soporte de cálculo se presentan las siguientes tablas de peso propio para forjados unidireccionales y reticulares.

1. La primera tabla corresponde a la ficha técnica de un fabricante de viguetas prefabricadas de hormigón armado pretensado.
2. Para la confección del resto de las tablas se ha utilizado el estudio de la Asociación de Consultores de Estructuras de Cataluña ACE, a las cuales se ha incorporado los forjados de poliestireno expandido EPS.
3. Para obtener el peso propio de una losa de hormigón armado, se multiplica el volumen de hormigón de una sección, por su densidad  $2,5\text{Tn/m}^3$ .

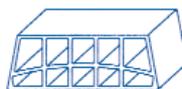
**FORJADO UNIDIRECCIONAL CON VIGUETAS PREFABRICADAS SEMIRESISTENTES (Ficha técnica)**  
**Tabla de Pesos Propios (kg/m<sup>2</sup>)**



h+e (cm)	Volumen de hormigón (l)			interreje (cm)			interreje (cm)			interreje (cm)		
	50	60	70	50	60	70	50	60	70	50	60	70
17+4	55	60	65	291	278	268	256	236	228			
17+5	65	70	75	315	302	292	280	260	252	219	202	192
17+6	75	90	85	339	326	316	304	284	276	243	226	216
17+7	85	100	95	363	350	340	328	308	300	267	250	240
17+8	95	110	105	387	374	364	352	332	324	291	274	264
18+4	59	64	69	302	289	280	266	245	236			
18+5	69	74	79	326	313	304	290	269	260	227	209	198
18+6	79	94	89	350	337	328	314	293	284	251	233	222
18+7	89	104	99	374	361	352	338	317	308	275	257	246
18+8	99	114	109	398	385	376	362	341	332	299	281	270
20+4	63	68	73	325	311	303	287	262	251			
20+5	73	78	83	349	335	327	311	286	275	243	223	209
20+6	83	98	93	373	359	351	335	310	299	267	247	233
20+7	93	108	103	397	383	375	359	334	323	291	271	257
20+8	103	118	113	421	407	399	383	358	347	315	295	281
21+4	66	72	76	336	320	311	298	270	259			
21+5	76	82	86	360	344	335	322	294	283	251	229	215
21+6	86	102	96	384	368	359	346	318	307	275	253	239
21+7	96	112	106	408	392	383	370	342	331	299	277	263
21+8	106	122	116	432	416	407	394	366	355	323	301	287
22+4	70	75	80	348	329	321	308	278	266			
22+5	80	85	90	372	353	345	332	302	290	259	236	221
22+6	90	95	100	396	377	369	356	326	314	283	260	245
22+7	100	105	110	420	401	393	380	350	338	307	284	269
22+8	110	115	120	444	425	417	404	374	362	331	308	293
24+4	74	79	84	373	347	336	331	296	282			
24+5	84	89	94	397	371	360	355	320	306	277	251	233
24+6	94	99	104	421	395	384	379	344	330	301	275	257
24+7	104	109	114	445	419	408	403	368	354	325	299	281
24+8	114	119	124	469	443	432	427	392	378	349	323	305
25+4	78	83	88	386	356	346	342	304	290			
25+5	88	93	98	410	380	370	366	328	314	286	258	240
25+6	98	103	108	434	404	394	390	352	338	310	282	264
25+7	108	113	118	458	428	418	414	376	362	334	306	288
25+8	118	123	128	482	452	442	438	400	386	358	330	312
26+4	82	87	92	397	364	356	353	313	298			
26+5	92	97	102	421	388	380	377	337	322	294	265	246
26+6	102	107	112	445	412	404	401	361	346	318	289	270
26+7	112	117	122	469	436	428	425	385	370	342	313	294
26+8	122	127	132	493	460	452	449	409	394	366	337	318
30+4	86	91	96	450	402	395	400	352	331			
30+5	96	101	106	474	426	419	424	376	355	332	296	273
30+6	106	111	116	498	450	443	448	400	379	356	320	297
30+7	116	121	126	522	474	467	472	424	403	380	344	321
30+8	126	131	136	546	498	491	496	448	427	404	368	345



## FORJADOS UNIDIRECCIONALES "IN-SITU" ANCHO DE NERVIOS 10 cm



h+e (cm)	Volumen de hormigón (l)				i = 80 cm    b = 10 cm				i = 80 cm    b = 10 cm				i = 80 cm    b = 10 cm			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
20+4	65	74	78	60	287	304	311	279	220	239	248	209	165	188	198	153
20+5	75	84	88	70	312	329	336	304	245	264	273	234	190	213	223	178
22+4	68	78	82	62	300	319	326	289	230	252	260	216	173	198	208	158
22+5	78	88	92	72	325	344	351	314	255	277	285	241	198	223	233	183
25+4	72	82	88	65	321	339	351	308	243	264	278	227	183	208	223	166
25+5	82	92	98	75	346	364	376	333	268	289	303	252	208	233	248	191
25+6	92	102	108	85	371	389	401	358	293	314	328	277	233	258	273	216
25+7	102	112	118	95	396	414	426	383	318	339	353	302	258	283	298	241
30+4	78	91	98	70	374	398	411	359	270	299	314	252	199	231	249	179
30+5	88	101	108	80	399	423	436	384	295	324	339	277	224	256	274	204
30+6	98	111	118	90	424	448	461	409	320	349	364	302	249	281	299	229
30+8	118	131	138	110	474	498	511	459	370	399	414	352	299	331	349	279
	Cuantía de casetones;				5,43	5,16	5,03	5,59	5,00	4,75	4,62	5,14	5,00	4,75	4,62	5,14

## FORJADOS UNIDIRECCIONALES "IN-SITU" ANCHO DE NERVIOS 12 cm



h+e (cm)	Volumen de hormigón (l)				i = 82 cm    b = 12 cm				i = 82 cm    b = 12 cm				i = 82 cm    b = 12 cm			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
20+4	71	79	83	65	297	313	319	287	232	250	259	219	179	200	210	165
20+5	81	89	93	75	322	338	344	312	257	275	284	244	204	225	235	190
22+4	74	83	88	68	310	328	335	299	241	262	272	228	187	210	221	172
22+5	84	93	98	78	335	353	360	324	266	287	297	253	212	235	246	197
25+4	79	88	94	71	333	350	361	319	257	278	291	241	200	223	238	182
25+5	89	98	104	81	358	375	386	344	282	303	316	266	225	248	263	207
25+6	99	108	114	91	383	400	411	369	307	328	341	291	250	273	288	232
25+7	109	118	124	101	408	425	436	394	332	353	366	316	275	298	313	257
30+4	86	99	105	78	389	411	423	373	288	315	330	269	219	250	266	198
30+5	96	109	115	88	414	436	448	398	313	340	355	294	244	275	291	223
30+6	106	119	125	98	439	461	473	423	338	365	380	319	269	300	316	248
30+8	126	139	145	118	489	511	523	473	388	415	430	369	319	350	366	298
	Cuantía de casetones;				5,26	5,00	4,86	5,42	4,85	4,60	4,48	5,00	4,85	4,60	4,48	5,00

i = Intereje    h = Altura (canto)    b = Ancho de nervio    e = Espesor capa de compresión

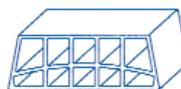
Datos referidos a la zona de los nervios y bovedillas, no incluyendo las jacenas, sean del tipo que sean.

Casetones de hormigón de 70cm de ancho x 23 cm de largo

Casetones ceramicos y de EPS de 70cm de ancho x 25 cm de largo

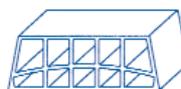
NOTA:    Columna A Solución de nervios principales sin ningún nervio transversal de repartición por tramo.  
 Columna B Solución de nervios principales con un nervio transversal de repartición cada 3 m.  
 Columna C Solución de nervios principales con un nervio transversal de repartición cada 2 m.  
 Columna D Solución de nervios principales, sin nervios transversales, sin aplicar mermas.

## FORJADOS UNIDIRECCIONALES "IN-SITU" ANCHO DE NERVIOS 15 cm



h+e (cm)	Volumen de hormigón (l)				i = 85 cm    b = 15 cm				i = 85 cm    b = 15 cm				i = 85 cm    b = 15 cm			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
20+4	76	84	88	70	308	322	329	296	244	261	270	230	193	212	222	178
20+5	86	94	98	80	333	347	354	321	269	286	295	255	218	237	247	203
22+4	79	88	93	73	320	337	346	309	254	273	284	240	200	223	235	185
22+5	89	98	103	83	345	362	371	334	279	298	309	265	225	248	260	210
25+4	85	94	100	78	345	361	373	331	271	291	304	254	216	238	253	197
25+5	95	104	110	88	370	386	398	356	296	316	329	279	241	263	278	222
25+6	105	114	120	98	395	411	423	381	321	341	354	304	266	288	303	247
25+7	115	124	130	108	420	436	448	406	346	366	379	329	291	313	328	272
30+4	94	106	112	85	404	425	436	386	306	332	345	285	239	269	284	216
30+5	104	116	122	95	429	450	461	411	331	357	370	310	264	294	309	241
30+6	114	126	132	105	454	475	486	436	356	382	395	335	289	319	334	266
30+8	134	146	152	125	504	525	536	486	406	432	445	385	339	369	384	316
	Cuantía de casetones;				5,11	4,86	4,73	5,27	4,71	4,47	4,35	4,85	4,71	4,47	4,35	4,85

## FORJADOS UNIDIRECCIONALES "IN-SITU" ANCHO DE NERVIOS 20 cm



h+e (cm)	Volumen de hormigón (l)				i = 90 cm    b = 20 cm				i = 90 cm    b = 20 cm				i = 90 cm    b = 20 cm			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
20+4	76	84	88	70	308	322	329	296	244	261	270	230	193	212	222	178
20+5	86	94	98	80	333	347	354	321	269	286	295	255	218	237	247	203
22+4	79	88	93	73	320	337	346	309	254	273	284	240	200	223	235	185
22+5	89	98	103	83	345	362	371	334	279	298	309	265	225	248	260	210
25+4	85	94	100	78	345	361	373	331	271	291	304	254	216	238	253	197
25+5	95	104	110	88	370	386	398	356	296	316	329	279	241	263	278	222
25+6	105	114	120	98	395	411	423	381	321	341	354	304	266	288	303	247
25+7	115	124	130	108	420	436	448	406	346	366	379	329	291	313	328	272
30+4	94	106	112	85	404	425	436	386	306	332	345	285	239	269	284	216
30+5	104	116	122	95	429	450	461	411	331	357	370	310	264	294	309	241
30+6	114	126	132	105	454	475	486	436	356	382	395	335	289	319	334	266
30+8	134	146	152	125	504	525	536	486	406	432	445	385	339	369	384	316
	Cuantía de casetones;				4,83	4,59	4,47	4,00	4,44	4,22	4,11	4,00	4,44	4,22	4,11	4,00

i = Intereje    h = Altura (canto)    b = Ancho de nervio    e = Espesor capa de compresión

Datos referidos a la zona de los nervios y bovedillas, no incluyendo las jacenas, sean del tipo que sean.

Casetones de hormigón de 70cm de ancho x 23 cm de largo

Casetones ceramicos y de EPS de 70cm de ancho x 25 cm de largo

NOTA:    Columna A Solución de nervios principales sin ningún nervio transversal de repartición por tramo.  
 Columna B Solución de nervios principales con un nervio transversal de repartición cada 3 m.  
 Columna C Solución de nervios principales con un nervio transversal de repartición cada 2 m.  
 Columna D Solución de nervios principales, sin nervios transversales, sin aplicar mermas.



## FORJADOS BIDIRECCIONALES PLANOS (RETICULARES) ANCHO DE NERVIÓ 10 cm



h+e (cm)	Volumen de hormigón (l)				i = 80x80 b = 10 cm				i = 80x80 b = 10 cm				i = 80x80 b = 10 cm			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
20+3	113	119	125	78	366	377	388	306	324	337	350	250	285	299	314	198
20+4	123	129	135	88	391	402	413	331	349	362	375	275	310	324	339	223
20+5	133	139	145	98	416	427	438	356	374	387	400	300	335	349	364	248
22+3	121	128	134	83	390	403	414	324	346	361	374	265	305	322	337	210
22+4	131	138	144	93	415	428	439	349	371	386	399	290	330	347	362	235
22+5	141	148	154	103	440	453	464	374	396	411	424	315	355	372	387	260
25+3	134	141	148	90	430	443	455	351	381	396	411	286	337	355	372	228
25+4	144	151	158	100	455	468	480	376	406	421	436	311	362	380	397	253
25+5	154	161	168	110	480	493	505	401	431	446	461	336	387	405	422	278
25+7	174	181	188	130	530	543	555	451	481	496	511	386	437	455	472	328
30+4	164	173	182	113	530	547	563	442	470	490	509	362	413	435	458	286
30+5	174	183	192	123	555	572	588	467	495	515	534	387	438	460	483	311
30+6	184	193	202	133	580	597	613	492	520	540	559	412	463	485	508	336
30+8	204	213	222	143	630	647	663	517	570	590	609	437	513	535	558	361
35+5	196	205	216	134	621	637	658	509	556	575	599	422	494	516	543	340
35+6	206	215	226	144	646	662	683	534	581	600	624	447	519	541	568	365
35+7	216	225	236	154	671	687	708	559	606	625	649	472	544	566	593	390
35+8	226	235	246	164	696	712	733	584	631	650	674	497	569	591	618	415
35+10	246	255	266	184	746	762	783	634	681	700	724	547	619	641	668	465
Q <sub>c</sub>	3,65	3,47	3,28	4,84												

i = Intereje h = Altura (canto) b = Ancho de nervio e = Espesor capa de compresión

Q<sub>c</sub> = Cuantía de casetones

En el cálculo del peso propio no se ha considerado la merma de material.

NOTA: Columna A Solución de retícula con capiteles y nervios muy ajustados a medida. (A retícula = 78% A total)  
 Columna B Solución de retícula con capiteles y nervios ajustados a medida. (A retícula = 74% A total)  
 Columna C Solución de retícula con capiteles y nervios "normales". (A retícula = 70% A total)  
 Columna D Solución de puramente la retícula.

## FORJADOS BIDIRECCIONALES PLANOS (RETICULARES) ANCHO DE NERVIOS 12 cm



h+e (cm)	Volumen de hormigón (l)				i = 82x82 b = 12 cm				i = 82x82 b = 12 cm				i = 82x82 b = 12 cm			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
20+3	120	126	131	87	379	390	399	329	342	355	365	273	302	317	329	220
20+4	130	136	141	97	409	420	428	354	367	380	390	298	327	342	354	245
20+5	140	146	151	107	434	445	453	379	392	405	415	323	352	367	379	270
22+3	129	135	141	93	410	421	431	349	366	379	392	290	325	340	354	235
22+4	139	145	151	103	435	446	456	374	391	404	417	315	350	365	379	260
22+5	149	155	161	113	460	471	481	399	416	429	442	340	375	390	404	285
25+3	142	149	156	100	450	463	475	376	401	416	431	311	357	375	392	253
25+4	152	159	166	110	475	488	500	401	426	441	456	336	382	400	417	278
25+5	162	169	176	120	500	513	525	426	451	466	481	361	407	425	442	303
25+7	182	189	196	140	550	563	575	476	501	516	531	411	457	475	492	353
30+4	174	183	191	125	555	572	586	472	490	510	527	385	438	460	480	316
30+5	184	193	201	135	580	597	611	497	515	535	552	410	463	485	505	341
30+6	194	203	211	145	605	622	636	522	540	560	577	435	488	510	530	366
30+8	214	223	231	165	655	672	686	572	590	610	627	485	538	560	580	416
35+5	207	217	227	148	649	667	686	544	583	605	627	457	521	546	571	375
35+6	217	227	237	158	674	692	711	569	608	630	652	482	546	571	596	400
35+7	227	237	247	168	699	717	736	594	633	655	677	507	571	596	621	425
35+8	237	247	257	178	724	742	761	619	658	680	702	532	596	621	646	450
35+10	257	267	277	208	774	792	811	694	708	730	752	607	646	671	696	525
Q <sub>c</sub>	3,44	3,27	3,09	4,56												

i = Intereje h = Altura (canto) b = Ancho de nervio e = Espesor capa de compresión

Q<sub>c</sub> = Cuantía de casetones

En el cálculo del peso propio no se ha considerado la merma de material.

NOTA: Columna A Solución de retícula con capiteles y nervios muy ajustados a medida. (A retícula = 78% A total)  
 Columna B Solución de retícula con capiteles y nervios ajustados a medida. (A retícula = 74% A total)  
 Columna C Solución de retícula con capiteles y nervios "normales". (A retícula = 70% A total)  
 Columna D Solución de puramente la retícula.



**FORJADOS BIDIRECCIONALES PLANOS (RETICULARES)  
ANCHO DE NERVIÓ 15 cm**



h+e (cm)	Volumen de hormigón (l)				i = 85x85 b = 15 cm				i = 85x85 b = 15 cm				i = 85x85 b = 15 cm			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
20+3	126	132	137	95	389	401	409	336	352	365	376	286	317	332	344	240
20+4	136	142	147	105	414	426	434	361	377	390	401	311	342	357	369	265
20+5	146	152	157	115	439	451	459	386	402	415	426	336	367	382	394	290
22+3	136	142	148	102	418	429	440	358	378	392	405	306	342	357	372	258
22+4	146	152	158	112	443	454	465	383	403	417	430	331	367	382	397	283
22+5	156	162	168	122	468	479	490	408	428	442	455	356	392	407	422	308
25+3	150	157	164	112	459	472	485	391	415	431	446	334	377	395	412	283
25+4	160	167	174	122	484	497	510	416	440	456	471	359	402	420	437	308
25+5	170	177	184	132	509	522	535	441	465	481	496	384	427	445	462	333
25+7	190	197	204	152	559	572	585	491	515	531	546	434	477	495	512	383
30+4	184	192	200	138	567	581	596	486	513	531	548	416	463	483	502	349
30+5	194	202	210	148	592	606	621	511	538	556	573	441	488	508	527	374
30+6	204	212	220	158	617	631	646	536	563	581	598	466	513	533	552	399
30+8	224	232	240	178	667	681	696	586	613	631	648	516	563	583	602	449
35+5	218	228	237	164	661	681	697	564	603	625	645	487	548	573	595	414
35+6	228	238	247	174	686	706	722	589	628	650	670	512	573	598	620	439
35+7	238	248	257	184	711	731	747	614	653	675	695	537	598	623	645	464
35+8	248	258	267	194	736	756	772	639	678	700	720	562	623	648	670	489
35+10	268	278	287	214	786	806	822	689	728	750	770	612	673	698	720	539
Q <sub>c</sub>	3,23	3,07	2,9	4,28												

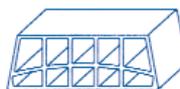
i = Intereje h = Altura (canto) b = Ancho de nervio e = Espesor capa de compresión

Q<sub>c</sub> = Cuantía de casetones

En el cálculo del peso propio no se ha considerado la merma de material.

NOTA: Columna A Solución de retícula con capiteles y nervios muy ajustados a medida. (A retícula = 78% A total)  
 Columna B Solución de retícula con capiteles y nervios ajustados a medida. (A retícula = 74% A total)  
 Columna C Solución de retícula con capiteles y nervios "normales". (A retícula = 70% A total)  
 Columna D Solución de puramente la retícula.

## FORJADOS BIDIRECCIONALES PLANOS (RETICULARES) ANCHO DE NERVIÓ 20 cm



h+e (cm)	Volumen de hormigón (l)				i = 90x90 b = 20 cm				i = 90x90 b = 20 cm				i = 90x90 b = 20 cm			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
20+3	137	142	147	110	409	418	427	363	375	386	397	319	344	357	369	277
20+4	147	152	157	120	434	443	452	388	400	411	422	344	369	382	394	302
20+5	157	162	167	130	459	468	477	413	425	436	447	369	394	407	419	327
22+3	148	153	159	118	439	448	460	387	404	415	428	341	372	384	399	297
22+4	158	163	169	128	464	473	485	412	429	440	453	366	397	409	424	322
22+5	168	173	179	138	489	498	510	437	454	465	478	391	422	434	449	347
25+3	164	170	176	130	485	496	507	425	446	459	472	373	412	427	442	328
25+4	174	180	186	140	510	521	532	450	471	484	497	398	437	452	467	353
25+5	184	190	196	150	535	546	557	475	496	509	522	423	462	477	492	378
25+7	204	210	216	170	585	596	607	525	546	559	572	473	512	527	542	428
30+4	201	208	215	160	598	610	623	526	550	565	580	463	505	522	540	403
30+5	211	218	225	170	623	635	648	551	575	590	605	488	530	547	565	428
30+6	221	228	235	180	648	660	673	576	600	615	630	513	555	572	590	453
30+8	241	248	255	200	698	710	723	626	650	665	680	563	605	622	640	503
35+5	238	246	255	190	699	714	731	613	647	664	684	544	598	618	640	479
35+6	248	256	265	200	724	739	756	638	672	689	709	569	623	643	665	504
35+7	258	266	275	210	749	764	781	663	697	714	734	594	648	668	690	529
35+8	268	276	285	220	774	789	806	688	722	739	759	619	673	693	715	554
35+10	288	296	305	240	824	839	856	738	772	789	809	669	723	743	765	604
Q <sub>c</sub>	2,89	2,74	2,59	3,83												

i = Intereje h = Altura (canto) b = Ancho de nervio e = Espesor capa de compresión

Q<sub>c</sub> = Cuantía de casetones

En el cálculo del peso propio no se ha considerado la merma de material.

NOTA: Columna A Solución de retícula con capiteles y nervios muy ajustados a medida. (A retícula = 78% A total)  
 Columna B Solución de retícula con capiteles y nervios ajustados a medida. (A retícula = 74% A total)  
 Columna C Solución de retícula con capiteles y nervios "normales". (A retícula = 70% A total)  
 Columna D Solución de puramente la retícula.

### Comentario:

Como se puede comprobar en las tablas de peso propio, los forjados reticulares son más pesados que los unidireccionales. Esto es debido a que los forjados reticulares disponen de menor volumen aligerado.

Entre las piezas de aligeramiento que se utilizan, se comprueba que los forjados más pesados son los confeccionados con piezas de entrevigado de hormigón y los más ligeros son los forjados formados con piezas de entrevigado de EPS.



### 3.2.1.1.2 PIEZAS Y BLOQUES ALIGERANTES

Para aligerar una placa de hormigón armado se utilizan piezas o moldes, menos pesados que el hormigón, que reducen su volumen.

En el caso de los forjados unidireccionales los moldes que se utilizan se les conoce como *piezas de entrevigado*. Según su colaboración con la función resistente del forjado se clasifican en:

- Piezas de entrevigado con *función resistente*.
- *Piezas aligerantes*.

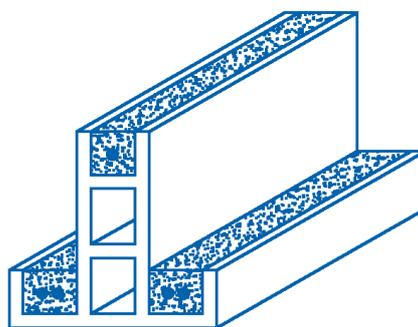
En el caso de forjados reticulares, para aligerar su masa, se utilizan dos tipos de moldes:

- Bloque perdido. (Casetón perdido)
- Bloque recuperable. (Cubeta recuperable)

#### 3.2.1.1.2.1 Piezas de entrevigado con función resistente en forjados unidireccionales

Como pieza de entrevigado con función resistente en este tipo de forjado, se utilizan piezas de entrevigado que pueden ser de cerámica o de hormigón. Estas piezas no deben de producir daños al hormigón ni a las armaduras.

Su resistencia a compresión no debe de ser menor que la resistencia del hormigón puesto en obra con que se ejecute el resto del forjado y debe de cumplir con las mismas condiciones de cálculo que las exigidas al resto de elementos resistentes prefabricados.



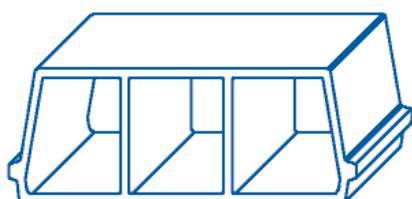
*Ejemplo de pieza de entrevigado con función resistente*

#### 3.2.1.1.2.2 Piezas de entrevigado sin función resistente en forjados unidireccionales (o piezas aligerantes)

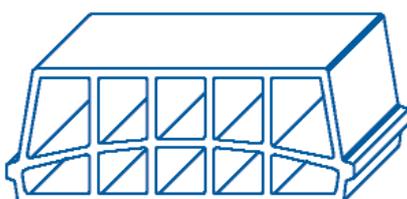
La misión fundamental de las piezas de entrevigado, sin función resistente, es la de aligerar la sección del forjado. Se considera que dichas piezas no forman parte de la sección resistente del forjado, no obstante ejercen otras misiones como la de moldear la sección de la losa superior y mediante resaltes, calzos, flejes, etc. facilitar la puesta en obra de los distintos elementos que componen el forjado.

Para ello se deben de utilizar elementos realizados con materiales que no sean susceptibles de producir daños al hormigón y a las armaduras. Los más comunes son las bovedillas de hormigón, las de cerámica y las de poliestireno expandido (EPS). La instrucción EFHE describe la pieza de entrevigado como elemento prefabricado de cerámica, hormigón, poliestireno expandido u otros materiales idóneos, con función aligerante o colaborante, destinado a formar parte, junto con las viguetas, la losa superior hormigonada en obra y las armaduras de obra, del conjunto resistente de un forjado.

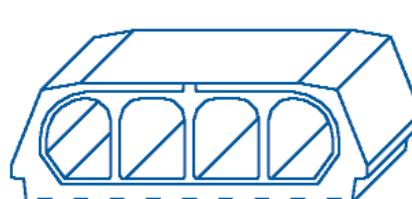
*Ejemplo de pieza de entrevigado sin función resistente en forjados unidireccionales*



Bovedilla hormigón



Bovedilla cerámica

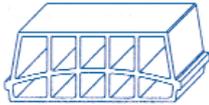


Bovedilla EPS

### 3.2.1.1.2.2.1 Pesos de las piezas de entrevigado

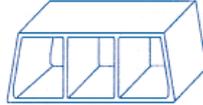
El peso propio de las piezas de entrevigado depende básicamente de la densidad de los materiales que la forman. La más pesada es la bovedilla de hormigón con una densidad aproximada de 2.200 kg/m<sup>3</sup>. La bovedilla cerámica, aunque supone un aligeramiento respecto a las de hormigón, tiene una densidad aproximada de 1.600 kg/m<sup>3</sup>. La bovedilla más ligera es la de poliestireno expandido EPS, con una densidad aproximada de entre 10 y 15 kg/m<sup>3</sup> para las bovedillas procedentes del corte de bloques (macizas o mecanizadas) y en el entorno de los 20 kg/m<sup>3</sup> para las moldeadas o alveolares.

En las siguientes tablas se puede comprobar el peso propio de las piezas de entrevigado más habituales en la construcción<sup>7</sup>. Los datos del peso propio de las piezas de entrevigado de hormigón y cerámica se han obtenido del estudio realizado por la Asociación de Consultores de Estructuras de Cataluña (ACE).



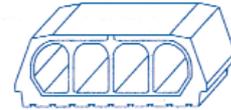
Bovedilla cerámica

A	L(cm)	H(cm)	P(kg/ud)
60	25	13	7,4
60	25	16	8,5
60	25	17	8,8
60	25	18	9,1
60	25	20	9,6
60	25	22	10,2
60	25	25	11,6
60	25	30	14,0
70	25	14	8,6
70	25	16	10,4
70	25	17	10,7
70	25	18	10,9
70	25	20	11,4
70	25	22	11,9
70	25	25	12,5
70	25	30	15,0



Bovedilla de hormigón

A	L(cm)	H(cm)	P(kg/ud)
60	25	16	15,5
60	25	18	18,0
60	25	20	20,0
60	25	22	22,0
60	25	25	24,0
60	25	30	29,0
70	25	16	19,0
70	25	20	22,0
70	25	22	24,0
70	25	25	26,0
70	25	30	31,0



Bovedillas de EPS

A	L(cm)	H(cm)	P(kg/ud)
60	25	20	0,33
60	25	22	0,33
60	25	25	0,36
60	25	30	0,40
70	25	20	0,38
70	25	22	0,39
70	25	25	0,41
70	25	30	0,45

A= Ancho (cm)  
L= Longitud (cm)  
H= Altura (cm)  
P= Peso (kg/ud)

#### Comentario:

Las principales características de las bovedillas de poliestireno expandido respecto a las demás son:

- El bajo peso de la pieza debido a su baja densidad, lo que provoca una reducción del peso propio del forjado.
- Facilidad de manipulación que comporta un mayor rendimiento de ejecución.
- Un mejor comportamiento térmico del forjado por las características aislantes del material (EPS).
- Una facilidad de moldeo y mecanización del forjado sin alterar sus características para adaptarse a las necesidades geométricas del elemento resistente.

<sup>7</sup> Estas tablas corresponden a valores medios. Los datos facilitados por los fabricantes de las piezas corresponde al peso real de la pieza de entrevigado que ellos fabrican y que puede disponer de ligeras diferencias con la de otros fabricantes. Dichas diferencias están en función de:

- El proceso de fabricación
- El procedimiento de moldeo
- El diseño de la pieza
- El origen de la materia prima, etc...



Además de aligerar y no producir daños al hormigón y a las armaduras, las piezas de entrevigado deben de cumplir con unas condiciones mínimas para moldear la sección resistente del forjado.

Para poder ejecutar el forjado, la pieza de entrevigado debe de encajarse con la viga o elemento resistente y resistir la carga del hormigón que la rodeara. Para ello, suele realizarse practicando un rebaje o muesca, en la sección de la pieza de entrevigado, para que se apoye sobre la viga. Este rebaje es distinto según el elemento resistente en el que se apoya, variando según la sección geométrica de éste.

*Tipos de apoyos de la pieza de entrevigado en función del tipo de viga*



La pieza de entrevigado que forma parte de la sección del forjado, además de aligerar, moldea la sección resistente. Para ello debe de cumplir unas condiciones geométricas mínimas, especialmente en forjados semiprefabricados, para garantizar la unión entre los elementos resistentes prefabricados y el hormigón vertido in-situ (ver apartado de diseño y dimensionado de este manual).

Estas condiciones geométricas le confieren a la sección resistente:

- Compatibilidad entre la pieza de entrevigado y el elemento resistente.
- Unión entre el hormigón vertido in-situ y la pieza prefabricada o semiprefabricada.

De esta forma se garantiza el comportamiento establecido en el diseño del forjado en lo que hace referencia especialmente a:

- cortante.
- flexión.
- deformación.

*Moldeo de la pieza de entrevigado en función de las características geométricas de la viga*



**Comentario:**

*En el caso de la viga semiresistente de hormigón pretensado en forma de cola de milano, la adherencia entre el hormigón vertido in situ y la viga es en general una unión geométrica. Para que exista esta unión es muy importante que se cumpla como mínimo la separación que establece la Instrucción EFHE, en cabeza de viga y bovedilla.*

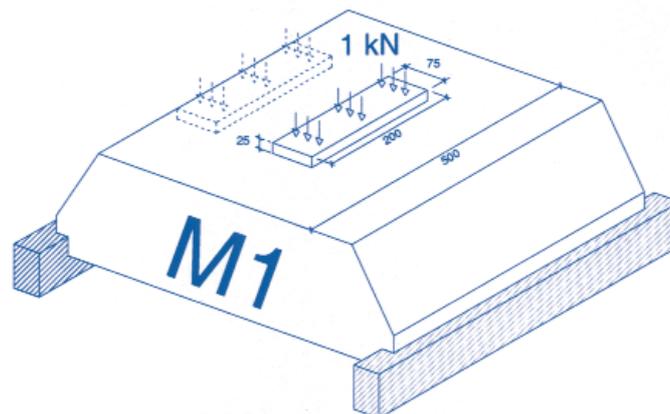
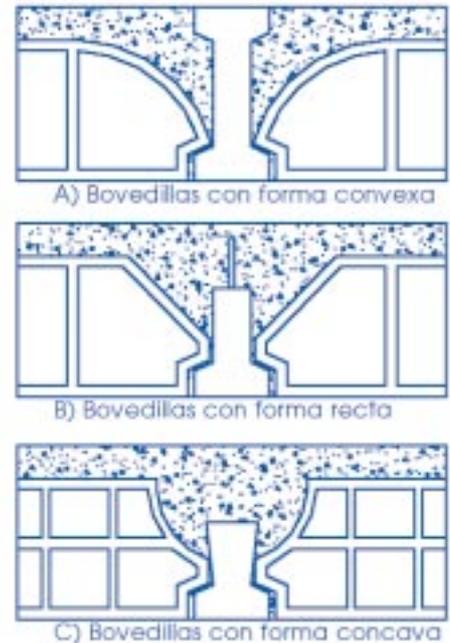
*Esto es especialmente importante en aquellas semiviguetas que no disponen de armadura de alma (tipo semivigüeta armada).*

El moldeo de la sección de la pieza de entrevigado, ha sufrido una evolución histórica que ha ido modificando su diseño.

Las primeras piezas tenían una forma más o menos convexa imitando en general la forma de los revoltones cerámicos de los primeros forjados (Fig. A). Más tarde evolucionaron hacia una forma más o menos recta (Fig. B) y hoy las bovedillas tienden a formas cóncavas (Fig. C) para adaptar la sección de la pieza aligerante a las nuevas características geométricas de los elementos resistentes del forjado.

Con el objeto de prevenir la rotura de la bovedilla, durante la ejecución de los forjados, deberá de cumplir las exigencias mínimas de resistencia en vano que establece la Instrucción EFHE. Las piezas deberán soportar 1,0 kN aplicado uniformemente en una placa de 200mm x 75mm x 25mm situada en la zona más desfavorable de la pieza.

Esta condición, que deben de cumplir todas las bovedillas, se realiza según ensayo normalizado (que para las bovedillas de EPS está recogido en la norma UNE 53981) y tiene por objeto reproducir la pisada eventual que puede realizar el operario de la construcción, en la ejecución del forjado.



*Comentario:*

*El largo de la pieza que se ensaya (50 cm) se consigue a partir del corte de piezas con longitud superior habitualmente 1 o 1,2 m o bien a partir del ensamblaje de piezas preparadas al efecto.*

*En cualquier caso y según se recoge en las actuales exigencias para la Prevención de Riesgos Laborales, la superficie de trabajo ha de resistir al menos 150 kg, por ello se recomienda desde un punto de vista de la seguridad laboral, no trabajar sobre ninguna bovedilla (independientemente del material) a menos que se ejecute sobre un sistema de encofrado.*



Las bovedillas de EPS se clasifican según la UNE 23727 M1 o M4 en función de que la materia prima esté o no ignifugada. Los ensayos para clasificar los materiales en la característica de reacción al fuego son UNE 23724 y 23725. En ambos casos se ensaya una probeta del material objeto de clasificación y se analizan los siguientes aspectos:

- Velocidad de propagación de la llama
- Gotas inflamadas
- Autoextinguibilidad de la llama

El EPS, cuando está tratado con ignifugantes, alcanza la clasificación M1.

La exigencia de la EFHE se presenta en estos términos:

“El comportamiento de reacción al fuego de las piezas que estén o pudieran quedar expuestas al exterior durante la vida útil de la estructura, alcanzará al menos la clasificación M1 de acuerdo con UNE 23727:09. Las bovedillas fabricadas con materiales inflamables deberán resguardarse de la exposición al fuego mediante capas protectoras eficaces. La idoneidad de las capas de protección deberá ser justificada empíricamente para el rango de temperaturas y deformaciones previsibles bajo la actuación del fuego de cálculo.”

La EFHE establece pues, que las bovedillas clasificadas como M4 deben revestirse. Las bovedillas que vayan a quedar expuestas deben ser M1.

Las bovedillas de EPS han de quedar revestidas en su uso final. En su acabado más habitual, enlucido de yeso, una capa de 15 mm del mismo es suficientemente seguro para garantizar la evacuación de los usuarios en caso de incendio. (ver apartado de comportamiento al fuego de este manual). Un revestimiento de yeso de 15 mm obtiene una clasificación Bd0s1 según el sistema de clasificación de Euroclases, igualmente una placa de yeso laminado de 10 mm.

Durante los últimos 30 años no se conocen casos de incendios en edificios con forjados construidos con bovedillas de poliestireno expandido (EPS). No obstante se ha de ser muy riguroso a la hora de manipular y almacenar las piezas, es en estas ocasiones donde el riesgo aumenta ya que no existe protección y el volumen de material es mayor.

### 3.2.1.1.2.2 Piezas aligerantes de EPS

Las piezas aligerantes de EPS, se llevan utilizando en la construcción de forjados desde finales de los años 60. Por ello se dispone de una gran experiencia en su comportamiento.

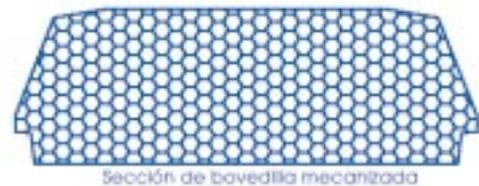
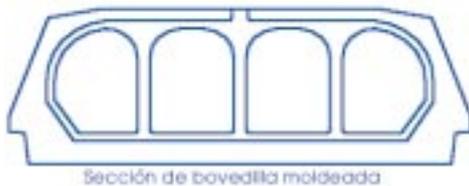
Básicamente existen dos tipos de piezas:

- Bovedillas moldeadas o alveolares
- Bovedillas mecanizadas o macizas (procedentes del corte de bloques)

Las primeras bovedillas que se utilizaron fueron mecanizadas y es en estas con las que se cuenta con más experiencia. La característica principal es que se trata de una pieza maciza con longitud variable.

Las moldeadas son piezas que disponen de alvéolos con formas y dimensiones similares a la que pueda disponer una bovedilla cerámica o de hormigón.

*Tipos de piezas de entrevigado de poliestireno expandido, EPS*

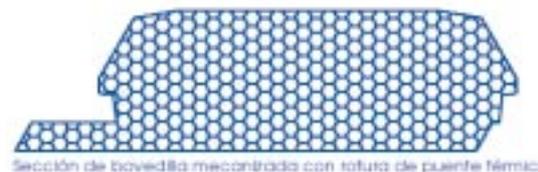
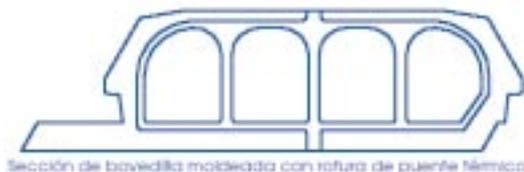


Las primeras aplicaciones en las que se utilizaron bovedillas de poliestireno expandido (EPS) fueron en edificios con problemas de cargas en soportes. Era necesario incluir en los forjados un material, ligero, resistente y que no alterara las características de los materiales que formaban la sección resistente. Todo ello lo cumple ampliamente el poliestireno expandido (EPS).

Más adelante y aprovechando el buen **comportamiento térmico** del material se ha utilizado como pieza aligerante con rotura de puente térmico, principalmente en forjados que limitan con el exterior:

- Forjados de cubierta.
- Forjados sanitarios.
- Porches.
- Forjados en separación con locales no calefactados (trasteros desvanes).
- Forjados en instalaciones frigoríficas.

*Piezas de entrevigado de poliestireno expandido, (EPS) con rotura de puente térmico.*



Todos los sistemas de aligeramiento de forjados con EPS son cada vez más apreciados, esto es debido al aumento de exigencias por parte de la Administración en materia de Ahorro Energético.



Para mejorar el **comportamiento del enlucido** en el techo se realizan una serie de ranuras en la pieza de entrevigado que facilita su adherencia.

*Ranurado inferior en piezas de entrevigado de poliestireno expandido, (EPS).*



*Piezas de entrevigado moldeada, (ANAPE).*

Debido a la facilidad de mecanizado/moldeado que ofrece el poliestireno expandido se han podido realizar todas las exigencias que se le ha exigido a la pieza de entrevigado por parte de las Instrucciones, diseñadores y consultores de estructuras, que conjuntamente con la característica intrínseca que el material ofrece, confieren a las piezas de entrevigado de EPS unas cualidades inigualables:

- (Optimización del peso propio) Las piezas de entrevigado moldeadas disponen de un machihembrado que une una pieza con la otra y de esta forma hace que el conjunto de bovedillas formen un solo cuerpo aligerado. Todas las bovedillas disponen de una parte ciega. De esta forma no permite que el hormigón vertido in-situ pueda introducirse dentro de sus alvéolos optimizando el peso propio previsto.
- Las piezas de entrevigado mecanizadas, se cortan y adaptan en obra a la zona que se pretende aligerar.
- Los resaltes en la parte superior de la pieza garantizan el recubrimiento de la armadura de reparto.
- Los encajes laterales facilitan la colocación de flejes que soportan la armadura de negativos a la distancia exigida en el diseño y el calculo estructural.



*Ranurado, encajes, resaltes y galzes en una pieza de entrevigado moldeada de poliestireno expandido (EPS).*



- El ranurado en la parte inferior de las piezas de entrevigado facilita el paso de instalaciones eléctricas



### 3.2.1.1.2.3 Piezas aligerantes en forjados reticulares o forjados unidireccionales con nervios hormigonados "in-situ"

El tipo de pieza de aligeramiento mas usual en edificación, para forjados reticulares (placa de hormigón armado aligerada, con nervios en dos direcciones perpendiculares) y para los forjados unidireccionales con nervios de hormigón armado vertido in-situ, son los bloques aligerantes perdidos .

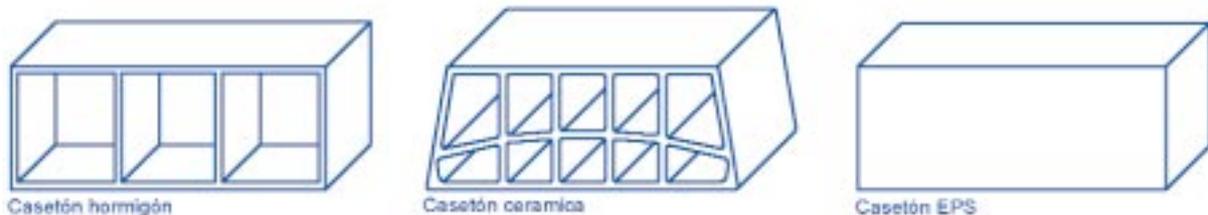
Los bloques aligerantes recuperables (cubeta recuperable) se utilizan en los edificios con luces y acciones gravitatorias importantes como son los garajes, edificios singulares, etc...

#### 3.2.1.1.2.3.1 Pieza aligerante perdida (casetón)

Como bloque de aligeramiento perdido existen básicamente tres tipos de casetones:

- Casetón de hormigón.
- Casetón cerámico.
- Casetón de **poliestireno expandido**. (UNE 53974 y UNE 53976)

Tipos de bloques de aligeramiento perdido.(casetones)



Los "casetones" pueden ser de cualquier material que no provoque daños al hormigón y a las armaduras, al igual que en los forjados con elementos prefabricados. Los bloques de aligeramiento más habituales (tanto en forjados reticulares como unidireccionales "in situ") son los casetones de hormigón y los de poliestireno expandido. Prácticamente los casetones cerámicos no se utilizan, debido a la dificultad en el moldeo de las piezas, que los hace ser poco competitivos económicamente.

Tipo de bloques de aligeramiento perdido ceramicos. (casetones)

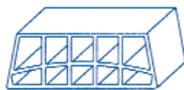




### 3.2.1.1.2.3.2 Pesos de bloques de aligeramiento perdido

El peso propio de los bloques de aligeramiento depende básicamente de la densidad de los materiales que lo forman. El hormigón es el más pesado con una densidad de 2.200 kg/m<sup>3</sup>. La cerámica tiene una densidad de 1.600 kg/m<sup>3</sup>. El poliestireno expandido EPS, es el más ligero con una densidad entre 10 y 20 kg/m<sup>3</sup>.

En las tablas siguientes se puede comprobar el peso propio de las piezas de entrevigado más habituales en la construcción. Los datos del peso propio de las piezas de entrevigado de hormigón y cerámica se han obtenido del estudio realizado por la Asociación de Consultores de Estructuras de Cataluña (ACE).



Bovedilla cerámica

A	L(cm)	H(cm)	P(kg/ud)
70	25	14	8,6
70	25	16	10,4
70	25	17	10,7
70	25	18	10,9
70	25	20	11,4
70	25	22	11,9
70	25	25	12,5
70	25	30	16,5



Bovedilla de hormigón

A	L(cm)	H(cm)	P(kg/ud)
70	23	20	23,0
70	23	22	24,0
70	23	25	26,0
70	23	30	33,0
70	23	35	36,0



Bovedillas de EPS

A	L(cm)	H(cm)	P(kg/ud)
70	23	20	0,55
70	23	22	0,60
70	23	25	0,68
70	23	30	0,82
70	23	35	0,96

- A= Ancho (cm)
- L= Longitud (cm)
- H= Altura (cm)
- P= Peso (kg/ud)

**Comentario:**  
 Al igual que las piezas de entrevigado las principales características que ofrecen los casetones de poliestireno expandido EPS respecto a los demás materiales son:

- El bajo peso de la pieza debido a su baja densidad que provoca una reducción del peso propio del forjado.
- Facilidad de manipulación que comporta un mayor rendimiento en la ejecución del forjado.
- Un mejor comportamiento térmico del forjado por las características aislantes del material (EPS).
- Una facilidad de moldeo y mecanización sin alterar sus características para adaptarse a las necesidades geométricas del elemento resistente.

En el sector de la edificación español es habitual, en la ejecución de las obras, la subcontratación de la ejecución de las estructuras. Esto conlleva que el margen de beneficio de estas empresas subcontratadas sea muy ajustado, las empresas especializadas en la ejecución de estructuras buscan y utilizan sistemas que permitan un mayor rendimiento de las cuadrillas de operarios. Los casetones de EPS son idóneos ya que manteniendo unas características homogéneas permiten unos **mayores rendimientos** debido a su poco peso y a la facilidad de manipulación.

En cuanto al **comportamiento térmico**, existen básicamente dos tipos de bloques de aligeramiento con poliestireno expandido EPS :

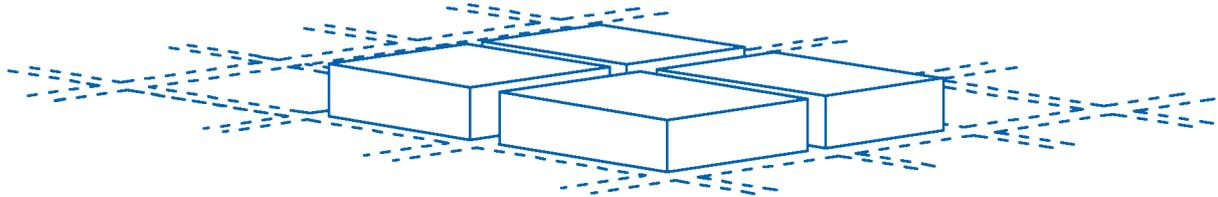
- Casetón perdido.
- Casetón perdido con rotura de puente térmico.

### 3.2.1.1.2.3.3 Casetón perdido

Este tipo de casetón fue el primero que se utilizó. Se basa en un casetón de una sola pieza, obtenida por mecanizado y que puede disponer de elementos de fijación auxiliares.

Las primeras aplicaciones que se realizaron con este tipo de casetones se fijaban clavando el casetón directamente sobre el encofrado, debido a que el reducido peso del casetón producía desplazamientos y succiones de la pieza. Posteriormente el sistema se ha ido perfeccionando por medio de alvéolos interiores y flejes que rigidizan el conjunto del forjado.

*Forjado bidireccional con bloques de aligeramiento de EPS, sin rotura de puente térmico.*

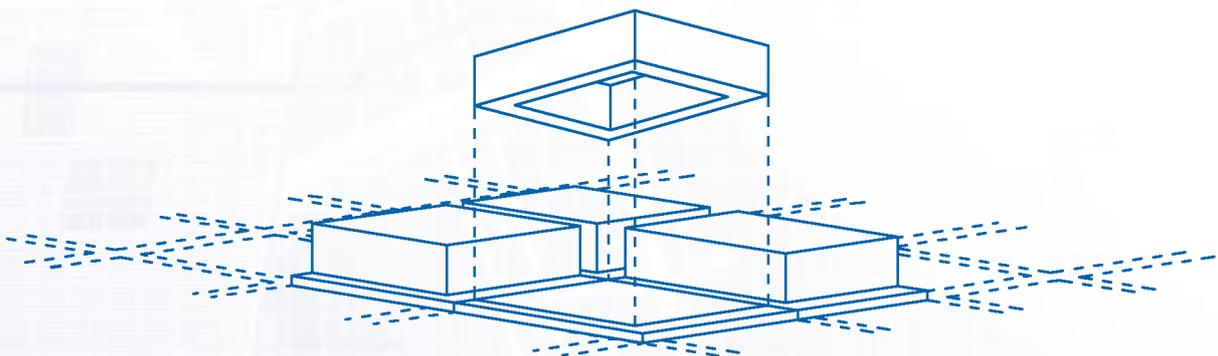


### 3.2.1.1.2.3.4 Casetón con rotura de puente térmico

Con la intención de aprovechar las ventajas que ofrece el material, como aislamiento térmico, se han desarrollado diversas soluciones de forjados que rompen el puente térmico. Todos los sistemas tienen en común la existencia de una placa de poliestireno expandido bajo el forjado que da continuidad al sistema y a la vez permite un fácil replanteo.

Para ello los fabricantes han patentado diversos tipos de forjados y que en general se basan en sistemas similares, consisten en una placa de poliestireno expandido, a la cual se llama "tabla o base", que encajándose entre ellas recubre toda la superficie del forjado. Estas placas de base reciben, mediante encajes practicados en ambas piezas, a los casetones de poliestireno expandido en las zonas aligeradas del forjado. Con este sistema, además de romper el puente térmico, se soluciona satisfactoriamente la fijación del casetón ligero.

*Forjado bidireccional con bloques de aligeramiento de EPS, con rotura de puente térmico.*



Los fabricantes de estos sistemas de forjados ligeros industrializados, disponen de información que avalan las ventajas en rendimientos en la colocación de casetones y montaje de ferralla.

Al igual que las piezas de entrevigado de poliestireno expandido, estos sistemas disponen de unas facilidades de mecanizado que permiten, al diseñador de estructuras, resolver las necesidades de moldeo de la pieza resistente. De esta forma se pueden practicar encajes en la pieza para recibir flejes, paso de instalaciones, etc...



### 3.2.1.1.3 HORMIGONES LIGEROS

Los hormigones que se emplean para constituir elementos constructivos, con función resistente y estructural, pueden ser aligerados. Se les conoce como hormigones ligeros (HL). Para confeccionarlos se pueden utilizar, total o parcialmente, áridos ligeros.

Como ya hemos dicho en la introducción, los hormigones ligeros no son un invento actual. Los romanos utilizaron una argamasa<sup>8</sup> aligerada con piedra pómez<sup>9</sup> como árido para aligerar la inmensa cúpula del Panteón de Roma.

Hasta el siglo XX, el hombre no ha podido obtener áridos ligeros de forma artificial. Fue el profesor S.J. Hayde en el año 1917 el que desarrolló un proceso, mediante horno tubular giratorio, para expandir pizarras y arcillas para obtener, de esta forma, áridos ligeros resistentes y de baja densidad.

Estos áridos aportan una homogeneidad en sus características que los hacen aplicables para confeccionar hormigones de calidad. Las primeras aplicaciones, de estos nuevos hormigones, se probaron en EEUU para la construcción de cascos de buques durante la primera guerra mundial.

En los años 30 se utilizaron para confeccionar calzadas en puentes colgantes y hacia los años 50 se construyeron en EEUU diversos edificios con estructura, total o parcialmente, de hormigón ligero. La aplicación mas importante del hormigón ligero, en edificación, ha sido los edificios de gran altura.

Con hormigones ligeros confeccionados con áridos artificiales se obtienen unas resistencias a compresión que van de los 1 kp/m<sup>2</sup> a los 5,5 kp/m<sup>2</sup> con unas densidades de mitad o un cuarto de los hormigones convencionales.

Clase de árido	Tipo de árido	Densidad de los granos (Grupo de 8-16 mm)	Resistencia a compresión	Densidad del hormigón
Baja consistencia	Arcillas expandidas	0,7 a 0,9 Kg/dm <sup>3</sup>	1,5 kp/m <sup>2</sup>	< 1,3 kg/dm <sup>3</sup>
Consistencia media	Pizarras y arcillas expandidas	1,0 a 1,3 Kg/dm <sup>3</sup>	2,5 a 3,5 kp/m <sup>2</sup>	1,5 a 1,7 kg/dm <sup>3</sup>
Alta consistencia	Pizarras y arcillas expandidas	1,2 a 1,4 Kg/dm <sup>3</sup>	4,5 a 5,5 kp/m <sup>2</sup>	1,6 a 1,8 kg/dm <sup>3</sup>

Tabla 1.1-1 de "Hormigones ligeros armados" Helmut Weigler y Sieghart Karl. Editorial Gustavo Gili.

Para el diseño, dimensionado y ejecución del hormigón ligero se debe utilizar el Eurocódigo nº2 dado que la EHE, Instrucción de Hormigón Estructural establece, en su artículo primero, que se excluyen del ámbito de aplicación de la norma; las estructuras realizadas con hormigones especiales, tales como los ligeros, los pesados, los refractarios y los compuestos con amianto, serrines u otras sustancias análogas. Además, el hormigón ligero, dispone de una amplia bibliografía a la que poder recurrir para realizar el diseño y ejecución de este tipo de hormigón.

#### 3.2.1.1.3.1 Tipos de hormigones

- Hormigón convencional: densidad 2500 Kg/m<sup>3</sup>
- Hormigón ligero con arcilla expandida: 1400 Kg/m<sup>3</sup> (1800 Kg/m<sup>3</sup>)
- Hormigón ligero con pizarra expandida: 1500 Kg/m<sup>3</sup> (1800 Kg/m<sup>3</sup>)

<sup>8</sup> La argamasa es un mortero o hormigón que en lugar de disponer de cemento como conglomerante utiliza cal.

<sup>9</sup> La piedra pómez es un arido de origen volcánico.

### 3.2.1.2 LAS CARGAS PERMANENTES

La carga permanente es la carga debida a los pesos de todos los elementos constructivos, instalaciones fijas, etc., que soporta el edificio.

Más concretamente se considera carga permanente todas las cargas debidas a los pesos de todos los elementos constructivos que gravitan permanentemente sobre el: muros, soleras, pavimentos, guarnecidos, falsos techos, y los tabiques con un peso superior a 120 kg/m<sup>2</sup>, etc...

Para determinar su peso se multiplica el volumen que ocupa por su peso específico aparente. El volumen se calcula geoméricamente en función de sus dimensiones y el peso específico se determina experimentalmente en los casos en que es preciso. Para materiales de construcción se pueden tomar los valores consignados en la tabla 2.1, para materiales almacenables los de la tabla 2.2 y para líquidos los de la tabla 2.3 de la NBE AE-88 Acciones en la Edificación.

#### **Comentario:**

*De forma general, se puede establecer que las cargas permanentes generan un peso que representa aproximadamente el 30% de la carga total del edificio.*

Para aligerar se puede actuar en el diseño y en la densidad de los materiales.

- Pavimentos de menor densidad: parquet flotante, moquetas, linoleums, etc...
- Cerramientos aligerado: paneles sándwich prefabricados, etc...
- Escaleras ligeras: escaleras de madera, etc...
- Barandillas ligeras.

### 3.2.2 SOBRECARGAS

#### 3.2.2.1 OPTIMIZANDO LAS SOBRECARGAS

Se entiende por sobrecarga el peso que gravita de forma discontinua en el edificio. Existen diversos tipos de sobrecargas. La Normativa Básica Edificación NBE AE-88, establece varios tipos de sobrecarga:

- Sobrecarga de uso
- Sobrecarga uniforme en pisos
- Sobrecarga de tabiquería
- Sobrecargas aisladas
- Sobrecarga de balcones volados
- Sobrecargas horizontales
- Sobrecarga de nieve

Todas ellas están establecidas por la misma Normativa Básica Edificación NBE AE-88, en función del uso, la ubicación del edificio, tipo de tabiquería, etc....

En el campo del aligeramiento se puede actuar en el diseño del edificio y en su uso racional para reducir sobrecargas, de esta forma cuando un edificio tiene diversos usos, desde un punto de vista estructural y especialmente de aligeramiento de estructuras, se optimiza disponiendo los usos que tienen de una sobrecarga mayor en las plantas inferiores y los usos con una sobrecarga inferior en las plantas superiores.

- \* *Ejemplo: No colocar la sala de actos, en la última planta del edificio.  
No colocar la biblioteca, en la última planta del edificio.  
No colocar el almacén, en la última planta del edificio.*

*También es aconsejable optimizar las sobrecargas y sobretodo informar a los usuarios de las sobrecarga que han sido considerada en el cálculo del edificio. (Libro del edificio. LOE), cartel indicativo, etc...*

**Ejemplo:** De la misma forma que los planes de emergencia y evacuación de los edificios indican el aforo máximo de un edificio el promotor y el usuario debe de conocer la sobrecarga máxima que ha sido considerado en el dimensionado de la estructura.

#### **Comentario:**

*De forma general, se puede establecer que las sobrecargas generan un peso que representa aproximadamente el 20% de la carga total del edificio.*



## 4. DISEÑO Y EJECUCIÓN

En España existen una serie de documentos normativos de referencia para el diseño y la ejecución de estructuras:

- Las Instrucciones y Normas Básicas de Edificación<sup>10</sup> de obligado cumplimiento.
- La Normativa Tecnológica<sup>11</sup>.
- Y desde los años 80 los Eurocódigos<sup>12</sup>.

Junto con los documentos normativos existe una serie de bibliografía técnica<sup>13</sup> y científica abundante que desarrolla el campo del diseño y dimensionado de estructuras.

El desarrollo del análisis de estructuras supera ampliamente el objetivo de este documento. Lo que se pretende, especialmente en este apartado, es concentrar los diversos temas que inciden en el diseño y ejecución de estructuras, (especialmente forjados) y de forma resumida ponerlo al alcance de los diferentes agentes implicados en la edificación con un lenguaje técnico pero ameno y con unos comentarios de cada tema sobre los asuntos que se consideran más importantes, especialmente en lo que se refiere al aligeramiento de estructuras.

### 4.1 CRITERIOS DE DISEÑO

Para diseñar los forjados o más ampliamente las estructuras que deberán de soportar al edificio, se han de considerar diversas características propias de la estructura y otras que dependen de los requisitos del edificio y de su emplazamiento. Con el análisis de todos estos factores se diseña el modelo estructural.

Características de cálculo

Las características de cálculo son aquellos parámetros necesarios para el análisis estructural y con los cuales se diseña y dimensiona la estructura.

1. Luz a cubrir.

Entendemos por luz la distancia entre soportes (muros o pilares) que se debe de salvar (forjados) o cubrir (cubierta).

2. Acciones gravitatorias.

Las acciones gravitatorias son las cargas de los elementos constructivos y de las sobrecargas que pueden actuar por razón de su uso y de la nieve en su cubierta. En ciertos casos puede ir acompañada de acciones por impactos o vibraciones.

La determinación de estas cargas podría ser un problema complejo, ya que por su naturaleza varía fundamentalmente con el proyecto, con los materiales y con el emplazamiento de la estructura, la NBE AE-88 establece unos valores para determinar cada una de las anteriores acciones.

Las cargas más importantes que soporta una estructura en el campo de la edificación (peso propio, cargas permanentes y sobrecargas) no suelen sufrir alteraciones bruscas, se las denomina cargas estáticas. Estas constituyen la base del diseño y cálculo de la estructura y están recogidas en la Norma Básica NBE AE-88 Acciones en la Edificación.

---

<sup>10</sup> Las Instrucciones y Normas Básicas de edificación, son Reglamentos Técnicos. Dichos reglamentos, son documentos que contienen las especificaciones técnicas que establecen comportamientos obligatorios para garantizar requisitos mínimos.

Real decreto 1650/1977 de 10 de junio sobre normativa de edificación;

Son normas básicas de la edificación (NBE), las que a partir de los fundamentos del conocimiento científico y tecnológico, establecen las reglas necesarias para su correcta aplicación en el proyecto y la ejecución de los edificios. Tiene como finalidad fundamental defender la seguridad de las personas, establecer las restantes condiciones mínimas para atender las exigencias humanas y proteger la economía de la sociedad. Como consecuencia de estos fines, las NBE son normas de obligado cumplimiento para todos los proyectos y las obras de edificación.

<sup>11</sup> Las "Normas Técnicas o Tecnológicas" son los documentos que contienen las especificaciones técnicas que establecen comportamientos voluntarios (no obligatorios) para garantizar los requisitos que a la sociedad conviene. Su elaboración, llevada a cabo por un organismo reconocido en el ámbito nacional o internacional por su actividad normativa, se realiza mediante un proceso consensuado en el que intervienen todos los agentes sociales y económicos interesados (fabricantes, consumidores y usuarios, administración, centros de investigación, laboratorios, asociaciones profesionales).

<sup>12</sup> Los Eurocódigos son un conjunto de normas europeas experimentales (estas normas son de aplicación voluntaria), que aportan métodos comunes de cálculo para todos los Estados Miembros. Desde el año 1998 se están reconvirtiendo de Normas Europeas Experimentales a Normas Europeas. Se espera que estén finalizadas para el año 2006. A partir del momento que estén publicadas como normas europeas, serán de aplicación en el campo de las licitaciones públicas dentro de los Estados Miembros (Directiva 93/37, artículo 10.2).

<sup>13</sup> Ver referencias bibliográficas

3. Acciones de viento.

Son las acciones de las presiones y succiones que la acción del viento produce a las superficies del edificio.

4. Acciones térmicas.

Es la acción producida por las deformaciones debidas a cambios de temperatura de los materiales que forman la estructura y el edificio.

5. Acción reológicas.

Es el resultado de las tensiones producidas por las deformaciones que experimentan los materiales en el transcurso del tiempo por retracción, fluencia, bajo cargas u otras análogas. Esta acción es una característica intrínseca de cada material.

6. Acciones sísmicas.

Son las acciones producidas por las aceleraciones de las sacudidas sísmicas. Las acciones sísmicas se consideran en los edificios emplazados en zonas que dispongan de sensibilidad sísmica establecida por la Norma Sismorresistente vigente.

Estas acciones cuyo valor varía con rapidez o se aplican de forma brusca se denominan acciones o cargas dinámicas.

7. Acciones del terreno.

La acción del terreno es producida por el empuje activo o el empuje pasivo del terreno sobre la superficie de los muros en contacto con este.

8. Capacidad portante del terreno.

Es la capacidad que dispone el terreno para resistir las cargas que le transmitirá el edificio una vez este se ha construido.

Condiciones de ejecución:

1. Organización empresarial del entorno.

Los medios auxiliares, materiales y humanos de los que disponga el constructor que va a ejecutar la estructura condicionan en gran medida la tipología estructural que se ha de diseñar. Un constructor especializado en ejecutar estructuras, que dispone de un sistema de encofrado, mejora los rendimientos de cuadrillas de operarios en la formación de losas, forjados reticulares o unidireccionales de hormigón vertido "in-situ", mientras que un constructor no especializado en estructuras, cuya actividad se desarrolla en una zona con una buena implantación de empresas de prefabricados, preferirá una estructura unidireccional semiprefabricada formada por viguetas, placas alveolares o prelasas.

2. Técnicas constructivas del lugar.

Los hábitos constructivos y los materiales habituales de la zona donde este emplazado el edificio tienen una gran importancia cuando estos afectan a la valoración económica final de la estructura. En un entorno donde existan gran cantidad de ladrillerías que produzcan cerámica para la construcción existirá también una tradición en aparejar ladrillos y por ello la estructura vertical de los edificios, situados en ese entorno, tenderán a realizarse con muros portantes de cerámica, siempre que ello sea posible estructuralmente. Por otro lado los edificios emplazados en zonas montañosas, donde abunde la madera y las aserradoras, se tenderá a utilizar la madera para cubrir forjados o cubiertas y con ella los profesionales del entorno condicionarán el sistema constructivo al disponer de los materiales y de los conocimientos necesarios en el arte de ensamblar y unir la madera.

3. Forma y ubicación del solar.

La forma y el emplazamiento del edificio condiciona el diseño arquitectónico y este a su vez a la estructura que lo sustenta.

Un edificio situado en una parcela irregular, con una fuerte pendiente dispondrá de unos medios auxiliares diferentes a los de una parcela regular, completamente llana (apuntalamiento, encofrado, sopandas, cimbras, etc...).



El emplazamiento de un edificio puede hacer imposible la utilización de hormigón de central por lo que obliga a utilizar sistema prefabricados o sistemas en seco. Otros emplazamientos o tipo de obra hará imposible la instalación de grúas que faciliten el transporte del material hasta la obra, etc.

#### 4. Coste económico.

El coste económico de la estructura es fruto de diversos factores que condicionan en gran medida el diseño estructural. El coste de ejecución de la estructura es importante pudiendo llegar y en algunos casos a superar el 30 % del coste final del edificio. Por este motivo la optimización de los recursos (rendimientos de la mano de obra), el coste de los materiales, y los gastos logísticos (transporte de materiales, medios mecánicos para su manipularlos (grúas, etc) deben de tenerse muy en cuenta en su ejecución.

De estos tres factores citados dependerá en gran medida el coste final de la estructura. El emplazamiento también influirá en los factores citados. Mientras que en las zonas mas industriales el coste de los materiales y su transporte será mas económico, en las zonas rurales y poco industrializadas, el coste del transporte puede llegar a ser elevadísimo. Por otro lado el coste de la mano de obra en las zonas mas industriales es elevado, lo que provoca que se utilicen técnicas con una rapidez de ejecución y rendimientos elevados, al contrario pasa en las zonas rurales donde se pueden utilizar técnicas con un coste de mano de obra y periodos de ejecución mayores.

- Seguridad, salud e higiene en la ejecución.

La planificación de los trabajos de seguridad y salud condonará el diseño y ejecución de la estructura en aquellos aspectos que lo hagan necesario. La estructura es siempre el primer elemento constructivo que se ejecuta. La adopción de medidas de seguridad en esta fase es importantísima, especialmente aquellas medidas encaminadas a reducir el riesgo de caída a doble altura.

- Aislamiento térmico.

Algunos de los forjados que forma el edificio deberán de cumplir alguna misión adicional a la de transmitir las cargas que recibe. Entre estas esta la de garantizar el confort térmico de la dependencia interior. Esto es especialmente importante en aquellas dependencias en las que el elemento estructural (forjado) conforma la limitación entre el espacio interior y exterior como son las cubiertas, los forjados sanitarios, los porches abiertos, o forjados que limiten distintos usos con requerimientos de confort distintos como pueden ser viviendas con garajes, almacenes, etc.

- Acondicionamiento acústico.

Al igual que pasa con el aislamiento térmico los forjados que separan horizontalmente dos espacios deben de cumplir unos requisitos adicionales para conseguir los parámetros de confort necesarios y que están establecidos en las normativas correspondientes.

- Seguridad en caso de incendio.

La estabilidad de la estructura es un factor fundamental en caso de incendio. En estos casos se le exige una estabilidad, durante un periodo de tiempo, que garantice la total evacuación del edificio. Por todo ello los parámetros de prevención en caso de incendio y especialmente aquellos que deben de servir para garantizar la estabilidad deben de ser considerados en la fase de diseño y no pueden ser alterados en la fase de ejecución y uso del edificio (recubrimientos, revestimientos, etc...).

- Impermeabilización.

Los forjados expuestos a las inclemencias meteorológicas deben de disponer de unos elementos que eviten la filtración de agua( impermeabilización). El agua es el agente principal que causa lesiones en los edificios y el drenaje del mismo, debe de ser estudiado en la fase de diseño. Los errores en esta fase condicionarán posteriormente una disminución de la durabilidad de la estructura y la realización de importantes inversiones en reparaciones.

- Medio ambiente.

La utilización de materiales que lleven un coste energético reducido en su producción<sup>14</sup> y transformación, la utilización de técnicas de reutilización y reciclaje así como el incentivar comportamientos respetuosos con el medio ambiente en el sector de la construcción (vertidos y utilización de productos tóxicos) deben de ser valoradas en la fase de diseño y ejecución de la estructura. El sector de la construcción, es considerado uno de los sectores mas importantes dentro de la actividad industrial, es por ello que la introducción en este campo de una cultura basada en los principios medioambientales conllevaría un importante beneficio a la sociedad.

**Comentario:**

*El aligeramiento estructural lleva consigo una reducción de la cuantía de acero necesaria y con ello consigue reducir el uso de uno de los materiales que consume más energía en su producción.*

---

<sup>14</sup> El aligeramiento estructural lleva consigo una reducción de la cuantía de acero necesaria y con ello consigue reducir el uso de uno de los materiales que consume mas energía en su producción



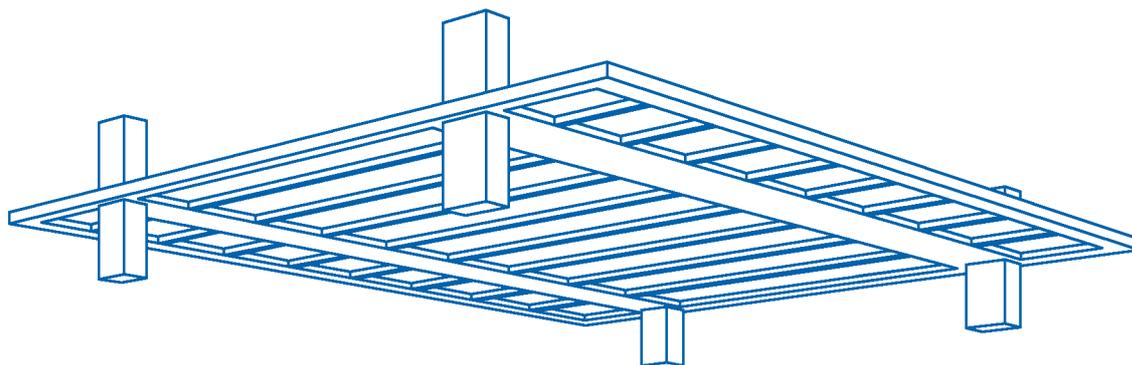
## DISEÑO Y DIMENSIONADO

La casuística de estructuras con las que podemos cubrir los edificios es muy amplia. En este apartado se analiza el cálculo y dimensionado de los forjados más habituales que utilizan piezas de aligeramiento.

Para poder simplificar el estudio se plantea un análisis siguiendo las instrucciones actuales. En primer lugar se analizan los forjados unidireccionales de hormigón armado, en segundo lugar los forjados unidireccionales con vigas metálicas y en tercer lugar los forjados bidireccionales planos (forjados reticulares).

### 4.1.1.1 FORJADOS UNIDIRECCIONALES DE HORMIGÓN ARMADO O PRETENSADO

Para el desarrollo de los criterios de diseño, cálculo y dimensionado de este apartado se ha seguido los criterios establecidos en la "Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón realizados con elementos prefabricados" (EFHE).



*Forjado unidireccional formado por elementos superficiales planos, con nervios sometidos a flexión esencialmente en una dirección.*

#### 4.1.1.1.1 CAMPO DE APLICACIÓN

El artículo 1 de la EFHE define su campo de aplicación, especificando como tal los forjados unidireccionales, constituidos por elementos superficiales planos con nervios sometidos a flexión esencialmente en una dirección. La Instrucción es aplicable cuando se cumple las siguientes condiciones:

- El canto total no exceda de 50 cm.
- La Luz de cada tramo no exceda de 10 metros.
- La separación entre ejes de nervios no exceda de 100 cm.

#### 4.1.1.1.2 ELEMENTOS QUE FORMAN EL FORJADO UNIDIRECCIONAL

Los forjados unidireccionales prefabricados, están formados por:

1. Elementos resistentes (viguetas, viguetas autoresistentes o losa alveolar).
2. Piezas de entrevigado (bovedillas o casetones).
3. Losa superior de hormigón, (hormigón vertido "in-situ" y armadura de refuerzo y/o de reparto).

#### 4.1.1.1.3 ELEMENTO RESISTENTE

Como ya hemos visto los elementos resistentes prefabricados pueden ser viguetas, viguetas autoresistentes, y losa alveolar.

Se llama vigueta al elemento longitudinal resistente, prefabricado en instalación fija exterior a la obra, diseñado para soportar cargas producidas en forjados de pisos o de cubiertas. Estas pueden ser armadas o pretensadas.

Se llama vigueta autoresistente: al elemento longitudinal resistente capaz de resistir por si solo en un forjado, sin sopandas intermedias y sin la colaboración del hormigón vertido en obra, la totalidad de los esfuerzos a que habrá de estar sometido el forjado.



**Comentario:**

Los elementos resistentes más utilizados en edificación son los forjados unidireccionales semiresistentes formados con viguetas prefabricadas armadas o pretensadas y los formados por nervios de hormigón armado "in-situ" que no entran en el ámbito de aplicación de la Instrucción EFHE.

Los forjados formados con viguetas autoresistentes, han tenido en el pasado, un uso muy amplio en la cubrición de pisos, pero con el desarrollo de los sistemas de apuntamiento han sido desplazados por la viguetas ya que estas confieren una mayor rigidez al forjado. Hoy su uso se circunscribe a los forjados que disponen de una dificultad de apuntamiento como son los forjados sanitarios o la sustitución de forjados en edificios existentes donde no es posible la colocación de sopandas.

#### 4.1.1.1.4 PIEZAS DE ENTREVIGADO

La Instrucción EFHE describe la pieza de entrevigado como elemento prefabricado de cerámica, hormigón, **poliestireno expandido** u otros materiales idóneos, con función aligerante o colaborante, destinado a formar parte, junto con las viguetas la losa superior hormigonada en obra y las armaduras de obra, del conjunto resistente de un forjado. (Para más información ver apartado 3.2.1.1.2 de este manual)

**Comentario:**

El artículo 53 de la EHE "Instrucción de hormigón estructural" hace extensible la aplicación de estas indicaciones a todos los forjados de hormigón armado y pretensado, sean o no forjados unidireccionales prefabricados por lo que sus características y exigencias recogidas en la EFHE a las piezas de entrevigado serán aplicables a las bovedillas y a los casetones. (Para más información ver apartado correspondiente de este manual).

La EFHE especifica las siguientes propiedades tecnológicas que se deben de exigir a las piezas de entrevigado:

1. La carga de rotura a flexión para cualquier pieza de entrevigado debe ser mayor que 1,0 kN determinada según UNE 53981:98 para las piezas de poliestireno expandido y según UNE 67037:99, para piezas de otros materiales
2. En piezas de entrevigado cerámicas, el valor medio de la expansión por humedad, determinado según UNE 67036:99, no será mayor que 0,55 mm/m, y no debe superarse en ninguna de las mediciones individuales el valor de 0,65mm/m. Las piezas de entrevigado que superen el valor límite de expansión total podrán utilizarse, no obstante, siempre que el valor medio de la expansión potencial, según la UNE 67036:99, determinado previamente a su puesta en obra, no sea mayor que 0,55 mm/m.
3. El comportamiento de reacción al fuego de las piezas que estén o pudieran quedar expuestas al exterior durante la vida útil de la estructura, alcanzara al menos la clasificación M1 de acuerdo con UNE 23727:90. Las bovedillas fabricadas con materiales inflamables deberán resguardarse de la exposición al fuego mediante capas protectoras eficaces. La idoneidad de las capas de protección deberá ser justificada empíricamente para el rango de temperaturas y deformaciones previsibles bajo la actuación del fuego de cálculo.

**Comentario:**

El artículo 34.2.b de la EFHE exige que el suministro de la pieza de entrevigado en la obra debe de verificarse la siguiente documentación para su uso, sin perjuicio de las facultades de la Dirección Facultativa pueda realizar otras comprobaciones:

1. Certificación documental del fabricante de la pieza de entrevigado basada en ensayos sobre el cumplimiento de carga de rotura a flexión, según UNE<sup>15</sup>, correspondiente.
2. Certificado documental del fabricante de expansión por humedad según UNE correspondiente a las piezas de entrevigado cerámicas.
3. Garantía documental del fabricante, basada en ensayos, de que el comportamiento de reacción al fuego del material con el que están fabricadas las bovedillas alcance al menos una clasificación M1, de acuerdo con UNE 23727:90, en el caso de que las piezas de entrevigado no sean cerámicas o de hormigón. (Para más información, ver el apartado sobre el comportamiento al fuego del EPS, de este manual).

<sup>15</sup> UNE-53981 Bovedillas de poliestireno expandido (EPS) para forjados unidireccionales con viguetas prefabricadas.  
UNE-53976 Bovedillas de poliestireno expandido (EPS) para forjados unidireccionales hormigonados en obra.  
UNE-53974 Bovedillas de poliestireno expandido (EPS) para forjados reticulares.



En la anterior "Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado y pretensado" (EF-96), la Comisión Permanente del Hormigón<sup>16</sup> hacia los siguientes comentarios respecto al ensayo a carga de rotura a flexión de las piezas de entrevigado;

**La exigencia de resistencia en vano de las piezas de entrevigado tiene por objeto prevenir su rotura en obra al pisar eventualmente sobre ellas, en consecuencia el ensayo prescrito se realizará apoyando la pieza en dos tablonas que representan a las viguetas.**

**Comentario:**

*En el caso de las bovedillas mecanizadas de EPS las longitudes que se suministran son muy variables. Con el fin de homogeneizar el resultado de los ensayos de flexión se ensayan probetas de 50 cm. de longitud, cortando el sobrante de las piezas originales.*

*Cuando se trata de piezas moldeadas se ensayan diversas piezas encajadas hasta conseguir una longitud de 50 cm. (Para mas información ver el apartado de piezas de entrevigado de este manual).*

Las condiciones que la EFHE exige respecto al comportamiento de reacción al fuego, ya estaban establecidas en la anterior Instrucción EF-96 por lo que las piezas de entrevigado de poliestireno expandido (EPS) que se han venido comercializando en nuestro país ya cumplen con dicho requisito.

Respecto la misma la Instrucción EF-96, publicada por el Ministerio de Fomento, hacia los siguientes comentarios;

*"Las condiciones exigibles a los materiales y a los elementos constructivos así como su comprobación del comportamiento ante el fuego, están reguladas en la Norma Básica de la Edificación NBE CPI-96 Condiciones de Protección contra Incendios en los Edificios. En esta norma se establece que los materiales cerámicos, así como los, morteros, los hormigones y los yesos se consideran de clase M0. [...]*

**Es recomendable que la cara inferior del forjado se recubra con algún tipo de revestimiento continuo como guarnecido, enfoscado o revoco."**

**Comentario:**

*Hemos visto que en relación al comportamiento de reacción al fuego, la Instrucción EFHE exige una clasificación M1 a las piezas que estén o pudieran quedar expuestas al exterior durante la vida útil de la estructura. Esto se cumple en la mayoría de las piezas de entrevigado que se comercializan en nuestro país ya que la anterior Instrucción EF-96 ya lo exigía.*

*En el caso de los forjados, indistintamente del tipo pieza de entrevigado, es recomendable como dice la Comisión Permanente del Hormigón que se recubra la superficie del mismo con un guarnecido, enfoscado o revoco. Los materiales con los que se forma dicho revestimiento (yesos y morteros) están considerados en la NBE CPI-96 de clase M0, por lo que dicha clasificación debe de extenderse a los forjados recubiertos con estos materiales, sea cual sea la pieza de entrevigado. La protección de la superficie de poliestireno expandido con 9 mm de espesor de cartón yeso o 10 mm de espesor de yeso se ha mostrado como resistente a la inflamabilidad, no obstante cabe recordar que diversos estudios demuestran que el grueso<sup>17</sup> del revestimiento en general, es el factor fundamental para prevenir las fisuras en la superficie del revestimiento y que concretamente la Norma Tecnológica. (NTE-Revestimientos NTE-RPG) exige un grueso del guarnecido y enfoscado de yeso de 15mm mínimo sea cual sea el material de soporte.*

*Por lo que se deduce que si se aplica un guarnecido y enlucido de 15 mm de grueso, como revestimiento de un forjado con piezas de entrevigado de poliestireno expandido, se dispondrá de un comportamiento al fuego M0 y de un revestimiento capaz de absorber las fisuras ocasionadas por deformaciones o tensiones reológicas de los materiales que forman el propio forjado.*

<sup>16</sup> La Comisión Permanente del Hormigón, esta formada por diversos organismos entre los que estan buena parte de los Ministerios del Estado y las Universidades Politécnicas. Esta Comiñión fue creada al amparo del Real Decreto 2687/1968, de 20 de setiembre y reestructurada conforme a lo dispuesto en el Real Decreto 1177/1992, de 2 de octubre y es la encargada de promover la revisiones de las Instrucciones del Hormigón (EF y EHE).

<sup>17</sup> Diversos estudios demuestran que el grueso del revestimiento es el factor decisivo para evitar fissuras debido a deformaciones y tensiones reológicas. Ver "Manual of Lathing and Plastering, Gypsum Assotiation Edition, Issued in 1965" de J.R.Diehl Editado por Mac Publisher Association.

#### 4.1.1.1.5 AUTORIZACIÓN DE USO

El artículo 4 de la EFHE, establece que los fabricantes de elementos prefabricados con función resistente para forjados deben de estar en posesión de la "Autorización de uso" para sus sistemas, concedida por la autoridad competente, de acuerdo con las disposiciones específicas sobre la materia, sobre una Ficha de Características Técnicas, que contiene datos relevantes para el cálculo, la ejecución y el control del forjado.

Dicha autorización de uso esta regulada por el Real Decreto 1630/1980 de 18 de julio. El artículo primero del mencionado decreto dispone que los fabricantes de sistemas de forjados o estructuras para pisos y cubiertas que pretendan industrializarlos para su empleo en edificación tendrán previamente que obtener autorización de uso del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (Actualmente Ministerio de Fomento). En el mismo articulado se recoge, que no precisan de dicha autorización de uso los elementos de pisos y cubiertas proyectados para una obra por el arquitecto o el ingeniero autor del proyecto de la obra y ejecutados bajo su dirección.

El artículo cuarto del mencionado Real Decreto establece que los elementos resistentes del sistema se describirán técnicamente en una ficha técnica.

En fecha 29 de noviembre de 1989 se publica una Orden sobre los modelos de fichas técnicas a los que se refiere el Real Decreto 1630/1980, de 18 de julio, sobre la autorización de uso para la fabricación y empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas.

En el artículo primero de la mencionado Orden se establece lo siguiente:

*"Artículo Primero.- A los efectos del artículo 1º del Real Decreto 1630/1980, de 18 de Julio, se entiende por sistemas de forjados y estructuras para pisos y cubiertas para su empleo en edificación, y por tanto, sujetos a previa autorización de uso, los forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado y las viguetas o elementos resistentes armados o pretensados de hormigón o de cerámica y hormigón, que se utilizan en su ejecución".*

#### **Comentario:**

*En referencia a la autorización de uso y como resumen de los diversos textos normativos se deduce lo siguiente:*

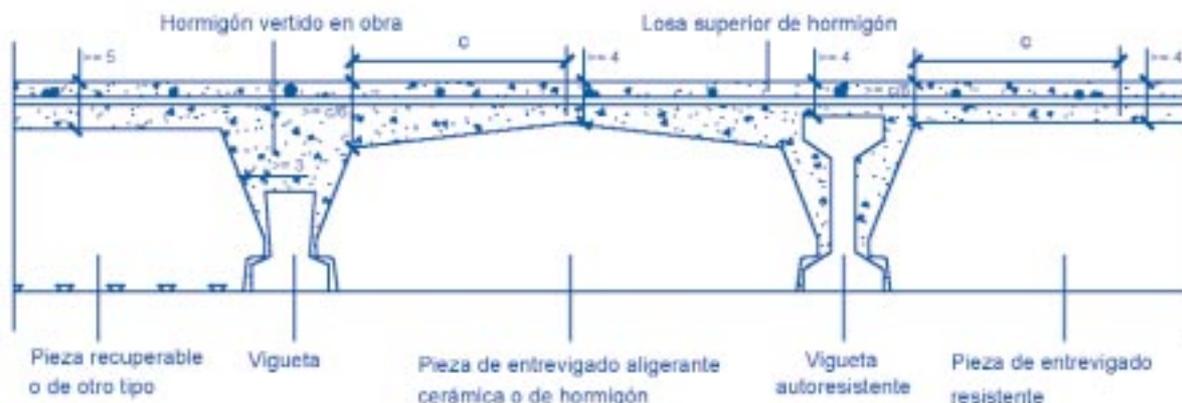
- **Los fabricantes de sistemas de forjados** deben disponer de **autorización de uso** cuando pretendan comercializar los forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado y las viguetas o elementos resistentes armados o pretensados de hormigón o de cerámica y hormigón, (elementos resistentes prefabricados).
- No precisan de dicha autorización de uso los elementos estructurales de pisos y cubiertas proyectados para una obra por el arquitecto o el ingeniero autor del proyecto de la obra y ejecutados bajo su dirección.
- Las piezas de entrevigado forman parte del conjunto resistente de un forjado (ver definición EFHE) como un elemento más (hormigón y armaduras de la losa superior, viguetas, etc...) y que **los fabricantes de dichas piezas de entrevigado no deben de disponer de Autorización de uso** ya que esta se les exige a quien pretende comercializar el elemento resistente completo (forjado).
- El Real Decreto 1630/1980 establece en su artículo séptimo la forma simplificada para **modificar una Autorización de Uso**. Dicho sistema puede ser utilizado por los fabricantes de sistemas de forjados para pisos que no dispongan en las fichas de características de la autorización de piezas de entrevigado de poliestireno expandido (EPS).

*"Artículo Séptimo.- La autorización de uso de un sistema se refiere solamente a los elementos expresamente definidos en las fichas autorizadas. **Cualquier modificación de forma, dimensiones, materiales**, que pretenda introducirse por el fabricante deberá ser solicitada con una **Memoria técnica adicional** y **las fichas** de los nuevos elementos, expidiéndose, si procede, nueva autorización de uso en la forma indicada en el artículo quinto de este Real Decreto".*



#### 4.1.1.1.6 CONDICIONES GEOMÉTRICAS

La Instrucción EFHE en su artículo 17 establece que la sección transversal del forjado cumplirá con los siguientes requisitos:



El espesor mínimo  $h_o$  de la losa superior hormigonada en obra, será de:

- 40mm sobre viguetas.
- 40mm sobre las piezas de entrevigado cerámicas o de hormigón.
- 50mm sobre piezas de entrevigado de otro tipo.
- 50mm sobre piezas de entrevigado en el caso de zonas con aceleración sísmica de cálculo mayor que 0,16g.

El perfil de la pieza de entrevigado será tal que a cualquier distancia  $c$  de su eje vertical de simetría, el espesor de hormigón de la losa superior hormigonada en obra no será menor que:

- $c/8$  en el caso de piezas de entrevigado colaborante.
- $c/6$  en el caso de piezas de entrevigado aligerantes.

En el caso de forjados de viguetas sin armadura transversales de conexión con el hormigón vertido en obra, el perfil de la pieza de entrevigado dejará a ambos lados de la cara superior de la vigueta un paso de **30mm**, como mínimo.

La forma de la junta será la adecuada para permitir el paso de hormigón de relleno, con el fin de crear un núcleo capaz de transmitir el esfuerzo cortante entre losas colaterales y para, en el caso de situar en ella armaduras, facilitar su colocación y asegurar una buena adherencia.

- El ancho de la junta en la parte superior de la misma no será menor que 30mm.
- El ancho de la junta en la parte inferior de la misma no será menor que 5mm, ni al diámetro nominal máximo de árido  $D$ .
- Si en el interior de la junta se disponen barras de atado longitudinales, el ancho de la junta al nivel de la barra debe ser mayor o igual que el mayor de los dos siguientes valores:  
 $\varnothing+20\text{mm}$   
 $\varnothing+2D$  con  $D$  y  $\varnothing$  expresados en mm.

#### **Comentario:**

*La comprobación de las condiciones geométricas de los elementos que forman los forjados es una de las misiones principales de la Dirección Facultativa de la obra. Dichas condiciones deberán estar especificadas en los planos del Proyecto de Ejecución del edificio y reflejadas en la Autorización de Uso correspondiente. Estas condiciones geométricas serán como mínimo las establecidas por la Instrucción EFHE.*

*Estas verificaciones en la recepción de los materiales es especialmente importante en el caso de las piezas de entrevigado cuando se quiere construir un forjado con viguetas, ya que corresponde a la pieza de entrevigado moldear el hormigón vertido "in-situ" para formar la sección resistente final. Por lo que será necesario contestar afirmativamente a las siguientes preguntas en la recepción de las piezas.*

- *El ancho de la junta que forman la parte superior de la vigueta y la pieza de entrevigado es  $\geq a$  30mm.?*
- *El ancho de la junta que forman la parte inferior de la vigueta y la pieza de entrevigado  $\geq a$  5mm o al diámetro nominal máximo de árido  $D$ .?*
- *El ancho de la junta que forman la parte inferior de la vigueta y la pieza de entrevigado a la altura de la armadura de atado es  $\geq a$   $\varnothing+20\text{mm}$  o  $\geq a$   $\varnothing+2D$  ?*

#### 4.1.1.1.7 ARMADURA DE REPARTO

Para convertir los nervios flectados en una sola dirección del forjado, en una placa y repartir transversalmente las acciones que recibe, es necesario disponer de una losa superior de reparto, también llamada capa de compresión. La misión fundamental de esta losa es:

- Solidarizar los diversos nervios o viguetas que forman el forjado.
- Repartir transversalmente las acciones gravitatorias.
- Dar monolitismo<sup>18</sup> al forjado.
- Arriostrar la estructura vertical frente a los esfuerzos horizontales.
- Asegurar el enlace entre el forjado y el resto de la estructura frente a acciones imprevistas.

La losa superior de hormigón vertido en obra, dispondrá de una armadura de reparto, que según la Instrucción debe estar formada por una armadura superior a 4mm de diámetro, en dos direcciones, perpendiculares y paralelos a los nervios y con una separación entre armaduras longitudinales y transversales no mayor de 35 cm.

Cuando se tenga en cuenta la armadura de reparto a efectos de comprobación de los Estados Límites Últimos el diámetro mínimo de la armadura será de 5mm. (Instrucción EHE)

La sección total de esta armadura, en cm<sup>2</sup>/m debe de ser:

- a) En la dirección perpendicular a los nervios

$$A1 \geq \frac{5 \cdot h_o}{f_{yd}}$$

- b) En la dirección paralela a los nervios

$$A2 \geq \frac{2,5 \cdot h_o}{f_{yd}}$$

$h_o$  = Espesor mínimo de la losa superior sobre piezas de entrevigado en mm.

$f_{yd}$  = Resistencia de cálculo del acero, en N/mm<sup>2</sup>.

#### **Comentario:**

*El espesor de la losa superior de hormigón viene determinada, como condición geométrica del forjado en función de los elementos que lo forman (artículo 17 EFHE) y el armado de la armadura de reparto se establece en función del espesor de esta.*

#### 4.1.1.1.8 BASE DE CALCULO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL FORJADO

##### 4.1.1.1.8.1 Acciones e hipótesis de carga

Los proyectos técnicos de estructuras deberán de establecer las acciones características de acuerdo con la NBE-AE-88 "Acciones en la Edificación". Se consideraran las acciones sísmicas en los casos que establezca la Norma de Construcción Sismorresistente vigente.



#### 4.1.1.1.8.2 Comprobación del Estado Limite de agotamiento frente a esfuerzo cortante

En los forjados de viguetas es necesario comprobar que no se produce agotamiento por compresión oblicua en el alma, no por tracción oblicua en la misma. Para ello debe comprobarse que se cumplen simultáneamente las condiciones siguientes:

a) en el borde del apoyo:  $V_d \leq V_{u1}$   
comprobación que no resulta necesaria en piezas sin armadura transversal;

b) a un canto útil respecto del borde del apoyo:  $V_d \leq V_{u2}$

Siendo:

$V_d$  = El esfuerzo cortante de cálculo, obtenido de acuerdo con el artículo 7º de la EFHE.

$V_{u1}$  = El esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma.

$V_{u2}$  = El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

El esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma, se obtiene de la siguiente expresión;

$$V_{u1} = 0,3 f_{cd} \cdot b_o \cdot d \cdot (1 + \cotg \alpha)$$

Siendo:

$f_{cd}$  = La resistencia de cálculo del hormigón a compresión.

$b_o$  = El ancho mínimo del nervio.

$d$  = El canto útil del forjado.

$\alpha$  = El ángulo de la armadura respecto al eje de la pieza.

Los esfuerzos de agotamiento por tracción en el alma  $V_{u2}$ , en forjados sin armadura transversal y en forjados con armadura transversal pueden determinarse, respectivamente, según los apartados 44.2.3.2.1 y 44.2.3.2.2 de la Instrucción EHE.

En los forjados de viguetas sin armadura se puede optar por:

$$V_{u2} = 0,16 \sqrt{f_{cd}} \cdot b_o \cdot d$$

Además en los forjados de viguetas sin armadura que dispongan de una limitación topológica, de un control de producción y que se suministre un certificado de garantía del fabricante, firmado por persona física conforme a lo establecido en el Anexo nº5 de la EFHE puede adoptarse:

$$V_{u2} = 0,32 \sqrt{f_{cd}} \cdot b_o \cdot d$$

En los forjados con armadura transversal:

$$V_{u2} = 0,16 \sqrt{f_{cd}} \cdot b_o \cdot d + 0,9 \cdot d \cdot \sum A_{\alpha} \cdot f_{y\alpha,d} \cdot (\sen \alpha_i + \cos \alpha_i)$$

En el caso de que el nervio no disponga de armadura transversal, el esfuerzo cortante de cálculo  $V_d$  debe de cumplir lo siguiente;

$$V_d \leq 2f_{cv} \cdot b_w \cdot d$$

Siendo:

$b_o$  = el ancho mínimo del nervio.

$d$  = el canto útil del forjado.

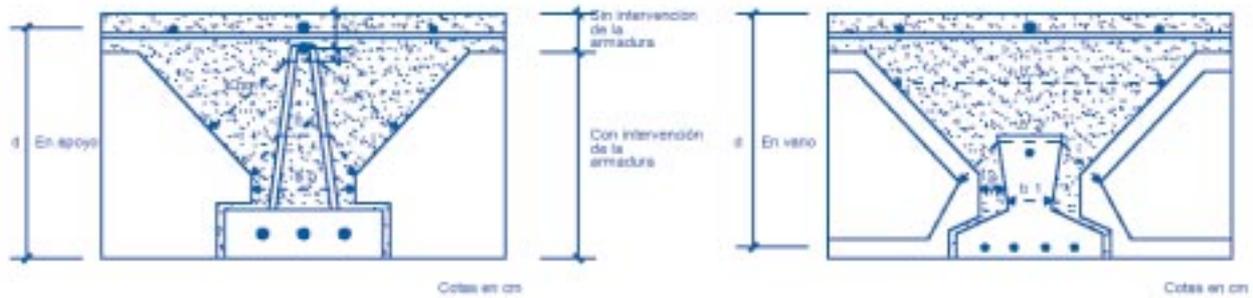
$f_{y\alpha,d}$  = la resistencia de cálculo a tracción del acero de la armadura transversal, igual a  $f_{yk} / \gamma_s \leq 400 \text{N/mm}^2$

$A_{\alpha}$  = El área de cada una de las familias de armaduras transversales, por unidad de longitud de nervio.

$\alpha_1$  = El ángulo que forman las diferentes familias de armaduras transversales con el eje del nervio, tal y como se define en la figura 44.2.3.1 de la Instrucción EHE considerando sólo aquellas armaduras con un ángulo  $\alpha_1$  comprendido entre 45º y 135º.

$f_{y\alpha,d}$  = La resistencia de cálculo del hormigón a compresión, en  $\text{N/mm}^2$ .

En la comprobación a un nivel con un ancho  $b$  se de adoptar como resistencia la que corresponde al hormigón de dicho nivel, y cuando la sección corte a dos hormigones se debe tomar, o bien el ancho del prefabricado con su resistencia, o bien el ancho total con la resistencia del hormigón vertido en obra siempre que este tenga menor resistencia que el hormigón del elemento prefabricado (ver las figuras siguientes).



#### 4.1.1.1.8.3 Comprobación del Estado Limite de agotamiento por esfuerzo rasante.

Además de la comprobación del estado limite por agotamiento por esfuerzo cortante, debe verificarse que la tensión rasante que solicita la junta entre el paramento prefabricado y el hormigón vertido en obra cumple la condición establecida en el artículo 47.2 de la EHE por la que debe cumplirse que:

$$\tau_{md} \leq \beta f_{ct,d} + (Ast / sp) \cdot f_{y\alpha,d} (\mu \operatorname{sen} \alpha + \operatorname{cos} \alpha) + \mu \sigma_{cd} > 0,25 f_{cd}$$

donde:

$\tau_{md}$  = Valor medio de la tensión rasante de cálculo de la junta en la sección considerada.

$f_{cd}$  = Resistencia de cálculo a compresión del hormigón más débil de la junta.

$Ast$  = Sección de las barras de acero, eficazmente ancladas, que cosen la junta.

$s$  = Separación de las barras de cosido según el plano de la junta.

$\rho$  = Superficie de contacto por unidad de longitud. No se extendera a zonas donde el ancho de paso sea inferior a 20 mm o al diámetro máximo del arido, o con un recubrimiento inferior a 30 mm.

$f_{y\alpha,d}$  = Resistencia de cálculo de las armaduras transversales en  $N/mm^2$  ( $> 400 N/mm^2$ ).

$\alpha$  = Ángulo formado por las barras de cosido con el plano de la junta. No se dispondrán armaduras con  $\alpha > 135^\circ$  o  $\alpha < 45^\circ$

$\sigma_{cd}$  = Tensión externa de cálculo normal al plano de la junta.

$\sigma_{cd} > 0$  para tensiones de compresión. Si ( $\sigma_{cd} < 0$ ,  $\beta f_{ct,d} = 0$ )

$f_{ct,d}$  = Resistencia de cálculo a tracción del hormigón más débil de la junta.

Los valores de  $\beta$  y  $\mu$  se definen en la siguiente tabla:

	Tipo de superficie	
	Rugosidad baja	Rugosidad alta
$\beta$	0,2	0,4
$\mu$	0,6	0,9

Las superficies rugosas, eficazmente engarzadas en cola de milano, se admite  $\beta = 0,5$

La contribución de la armadura de cosido a la resistencia a rasante de la junta, en la sección de estudio, sólo se debe contabilizar si la cuantía geométrica de armadura transversal cumple:

$$\frac{Ast}{sp} \cdot \frac{0,38}{f_{y\alpha,d}} \quad (f_{y\alpha,d} \text{ en } N/mm^2)$$



**Comentario:**

La comprobación del Esfuerzo Limite de Agotamiento por Esfuerzo Cortante y Esfuerzo Rasante son especialmente importantes en los forjados formados con viguetas. Del resultado de estas comprobaciones se establecen unas condiciones geométricas de la vigueta y de la pieza de aligeramiento que deberán de ser comprobadas en la fase de ejecución comprobando que la pieza de entrevigado proyectada es la que realmente se esta colocando. Un error comportará una patología de fisuras en forjado por esfuerzo cortante y/o rasante. (patología grave). Esto es especialmente importante en el caso de forjados con viguetas semi-resistentes pretensadas, ya que el hormigón vertido "in-situ" que la pieza de entrevigado moldea, se une a la semivigueta para formar el nervio.

Conjuntamente con la comprobación geométrica se debe inspeccionar en la fase de ejecución la limpieza y preparación de la superficie del hormigón de la vigueta, ya que la cohesión entre el hormigón de la vigueta y el vertido in-situ se ve muy afectado por la presencia de materiales interpuestos como son: el polvo, lechadas, restos de la pieza de aligeramiento o de su embalaje, etc... así como el grado de humedad de estos materiales (ver el capítulo condiciones de ejecución de este manual).

**4.1.1.1.8.4 Comprobación de la deformación**

**4.1.1.1.8.4.1 Determinación de la flecha**

Dentro del cálculo de la flecha debe distinguirse:

- La flecha total a término infinito, producida por la totalidad de las cargas actuantes, tanto las permanentes como las sobrecargas. Esta formada por la flecha instantánea producida por todas las cargas, y la flecha diferida, producida por las cargas permanentes a partir de su actuación.
- La flecha activa respecto a un elemento dañable (tabiques, tabicones, muros, etc...), producida a partir del instante en que se construye dicho elemento. Su valor es igual, por tanto, a la flecha total a plazo infinito menos la que ya se ha producido en el instante en que se construye el elemento.

Flecha instantánea

$$f = \alpha \cdot \frac{q \cdot l}{E \cdot I_e}$$

f = flecha instantánea.

α = Coeficiente que depende de la condición de apoyo.

I<sub>e</sub> = Momento de Inercia equivalente, intermedio entre las secciones fisurada y sin fisurar.

Su valor según (Artículo 50.2.2.2 EHE)

$$I_e = \left( \frac{M_f}{M_a} \right)^3 \cdot I_b + \left[ 1 - \left( \frac{M_f}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_f$$

M<sub>f</sub> = Momento nominal de fisuración de la sección.

I<sub>b</sub> = Momento de inercia de la sección bruta.

I<sub>f</sub> = Momento de inercia de la sección fisurada.

M<sub>a</sub> = Momento flector máximo aplicado a la sección hasta el instante en que se evalúa la flecha.

#### 4.1.1.8.4.2 Deformaciones admisibles

Las deformaciones deben de cumplir las condiciones siguientes:

- La flecha total a plazo infinito no excederá al menor de los valores  $L/250$  y  $L/500+1\text{cm}$ .
- Para forjados que sustentan tabiques o muros de partición o de cerramiento la flecha activa no excederá al menor de los valores  $L/500$  y  $L/1000+0,5\text{cm}$ .

##### **Comentario:**

Los elementos de cerramiento (tabiques, tabicones o muros), disponen de un peso propio que carga de forma permanente los forjados.

En referencia a las limitaciones de deformación del artículo 15.2.1 de la EFHE, se ha de observar que:

- La masa de los elementos de cerramiento condiciona la rigidez de los mismos.
- En función de los elementos de cerramiento que descansan encima de los forjados la limitación de la deformación aumenta.

#### 4.1.1.8.4.3 Determinación del canto del forjado

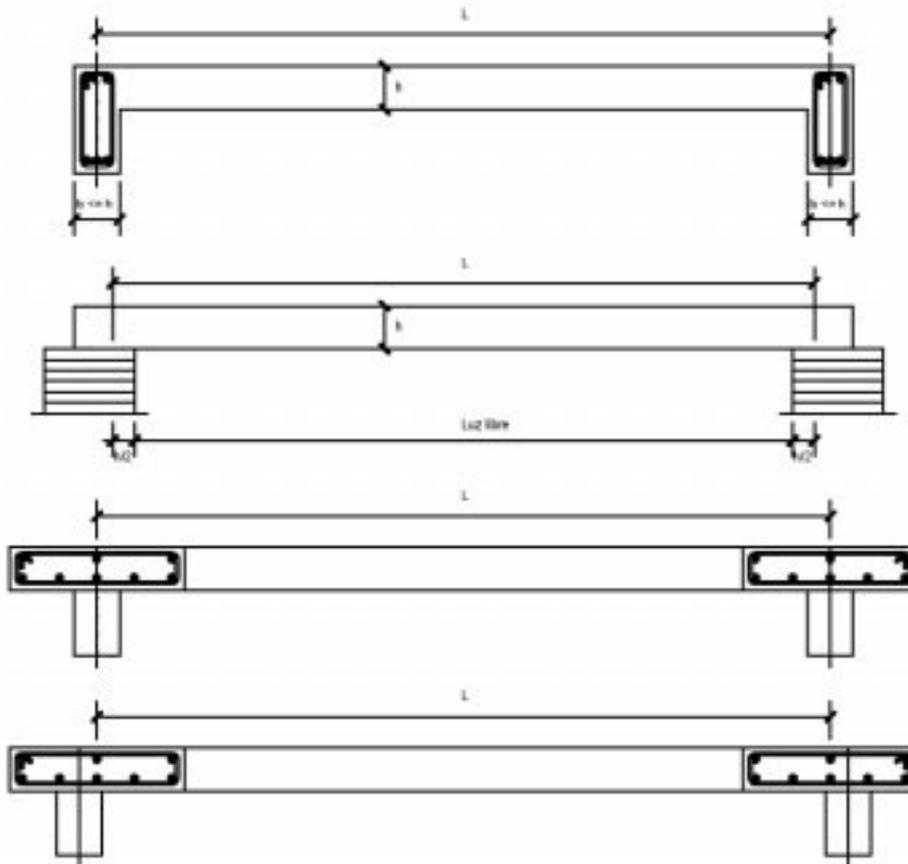
La instrucción EFHE (artículo 15.2.2) exige de comprobar la flecha en los forjados unidireccionales, con viguetas de luces menores de 7 metros y sobrecargas no mayores de  $4 \text{ kN/m}^2$ , si el canto total  $h$  es mayor que el mínimo  $h_{min}$  siendo este:

$$h_{min} = \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot L/C$$

$\delta_1$  = Factor que depende de la carga total y que tiene el valor de  $\sqrt{q/7}$ . Siendo  $q$  la carga total en  $\text{kN/m}^2$ .

$\delta_2$  = Factor que tiene el valor de  $4\sqrt{L/6}$ . Siendo  $L$  la luz del forjado m.

$L$  = Luz de cálculo del forjado en función del tipo de apoyo. (artículo 7 de la EFHE)



$C$  = Coeficiente cuyo valor se toma de la tabla siguiente:



		Tipo de tramo		
		Aislado	Extremo	Interior
Viguetas armadas	Con tabiques o muros	17	21	24
	Cubiertas	20	24	27
Viguetas pretensadas*	Con tabiques o muros	19	23	26
	Cubiertas	22	26	29

**Comentario:**

Con esta simplificación que permite la instrucción EFHE se pone de manifiesto que la deformación esta en función de:

- La carga total (peso propio + carga permanente + sobrecarga)
- La luz a salvar por el forjado
- El tipo de elemento resistente (armado o pretensado)
- El tipo de carga permanente (tabiques muros, cubierta)
- El tipo de tramo (aislado, extremo, interior)

El diseñador de la estructura puede actuar en todos estos factores para dimensionar el canto del forjado, no obstante de todos ellos el factor donde es más fácil de actuar es en el peso propio del forjado, en el que tan solo substituyendo la pieza de entrevigado se obtiene una reducción de la carga total y por consiguiente una reducción del canto del forjado.

**Ejemplo:**

En este ejemplo se determinará el canto de un forjado destinado a vivienda y formado con viguetas prefabricadas semi-resistente, de hormigón armado pretensado, con las mismas acciones gravitatorias pero con piezas de aligeramiento diferentes.

**Acciones**

La determinación de las sobrecargas de uso y tabiquería, así como la carga permanente son establecidas por la NBE AE-88. El peso propio se obtiene de la autorización de uso de un fabricante de elementos resistentes.

ACCIONES GRAVITATORIAS CON UN FORJADO DE BOVEDILLAS DE HORMIGÓN	
CARGAS	
CONCARGA	
Peso propio	327 kg/m <sup>2</sup>
Carga permanente	100 kg/m <sup>2</sup>
Pavimento;	80 kg/m <sup>2</sup>
Enyesado;	20 kg/m <sup>2</sup>
SUMAS DE CONCARGAS	427 kg/m <sup>2</sup>
SOBRECARGAS	
Sobrecarga de uso	200 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de tabiquería	100 kg/m <sup>2</sup>
SUMAS DE SOBRECARGAS	300 kg/m <sup>2</sup>
CARGAS TOTALES	727 kg/m <sup>2</sup>

ACCIONES GRAVITATORIAS CON UN FORJADO DE BOVEDILLAS CERÁMICAS	
CARGAS	
CONCARGA	
Peso propio	275 kg/m <sup>2</sup>
Carga permanente	100 kg/m <sup>2</sup>
Pavimento;	80 kg/m <sup>2</sup>
Enyesado;	20 kg/m <sup>2</sup>
SUMAS DE CONCARGAS	375 kg/m <sup>2</sup>
SOBRECARGAS	
Sobrecarga de uso	200 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de tabiquería	100 kg/m <sup>2</sup>
SUMAS DE SOBRECARGAS	300 kg/m <sup>2</sup>
CARGAS TOTALES	675 kg/m <sup>2</sup>

ACCIONES GRAVITATORIAS CON UN FORJADO DE BOVEDILLAS DE EPS	
CARGAS	
CONCARGA	
Peso propio	209 kg/m <sup>2</sup>
Carga permanente	100 kg/m <sup>2</sup>
Pavimento;	80 kg/m <sup>2</sup>
Enyesado;	20 kg/m <sup>2</sup>
SUMAS DE CONCARGAS	309 kg/m <sup>2</sup>
SOBRECARGAS	
Sobrecarga de uso	200 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de tabiquería	100 kg/m <sup>2</sup>
SUMAS DE SOBRECARGAS	300 kg/m <sup>2</sup>
CARGAS TOTALES	609 kg/m <sup>2</sup>

**Comentario:**

Siendo este forjado y sus acciones habituales en la edificación actual vamos a analizar la incidencia del peso propio en la masa total.

- En el primer caso podemos ver que el peso propio del forjado con bovedillas de hormigón es de **327 kg/m<sup>2</sup>** y el resto de acciones suman **400 kg/m<sup>2</sup>**. Se puede comprobar que el peso propio supone el 45% de la masa total, siendo esta **118 kg/m<sup>2</sup> mayor que el forjado de poliestireno expandido (EPS)**.
- En el segundo caso, el peso propio del forjado con bovedillas de cerámica es de **275 kg/m<sup>2</sup>** y el resto de acciones **400 kg/m<sup>2</sup>**. Por lo que se puede comprobar la relación entre el peso propio y la masa total casi se mantiene siendo el peso propio el 41% de la masa total. Este forjado pesa 52 kg/m<sup>2</sup> menos que el de bovedillas de hormigón y 66 kg/m<sup>2</sup> más que el de bovedillas de poliestireno expandido (EPS).

- En el tercer caso el peso propio del forjado con bovedillas de poliestireno expandido (EPS), es de 209 kg/m<sup>2</sup> y el resto de acciones 400 kg/m<sup>2</sup>, por lo que la relación entre el peso propio y la masa total es del 34%.

#### 4.1.1.1.8.4.4 Materiales

Hormigón; HA-25/B/15/IIa.....  $\gamma_c = 1,5$   
 Acero B500S.....  $\gamma_s = 1,15$   
 Ejecución Normal.....  $\gamma_f = 1,6$   
 Semiviguetas de hormigón armado pretensado.

#### 4.1.1.1.8.4.5 Datos del forjado

Luz e intereje



#### 4.1.1.1.8.4.6 Cálculo del canto del forjado

$$h = \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot L/C$$

$\delta_1$  = Factor que depende de la carga total y que tiene el valor de  $\sqrt{q/7}$ . Siendo q la carga total en kN/m<sup>2</sup>.

$\delta_2$  = Factor que tiene el valor de  $\sqrt[4]{L/6}$ . Siendo L la luz del forjado m.

L = Luz de cálculo del forjado.

C = Coeficiente cuyo valor se toma de la tabla adjunta.

#### BOVEDILLA DE HORMIGÓN

$$\delta_1 = \sqrt{q/7} = 1,019$$

$$\delta_2 = \sqrt[4]{L/6} = 0,983$$

$$L = 5,60\text{m.}$$

$$C = 24.$$

$$H = 21$$

#### BOVEDILLA CERÁMICA

$$\delta_1 = \sqrt{q/7} = 0,982$$

$$\delta_2 = \sqrt[4]{L/6} = 0,983$$

$$L = 5,60\text{m.}$$

$$C = 24$$

$$H = 21 \text{ cm.}$$

#### BOVEDILLA DE EPS

$$\delta_1 = \sqrt{q/7} = 0,933$$

$$\delta_2 = \sqrt[4]{L/6} = 0,983$$

$$L = 5,60\text{m.}$$

$$C = 24$$

$$H = 20$$

#### Comentario:

De la aplicación de la fórmula se deduce claramente que la deformación (flecha) de los forjados penaliza a los forjados más pesados.

	Forjado con piezas de entrevigado de hormigón	Forjado con piezas de entrevigado de cerámica	Forjado con piezas de entrevigado de EPS
h	22 cm	22 cm	22 cm
e	4	4	5
C	26	26	25

h= canto útil

e= espesor mínimo de la capa de compresión

C= canto total

#### **Comentario:**

Con este ejemplo se pone de manifiesto que utilizando la pieza de entrevigado de EPS en un forjado semi-resistente prefabricado, en lugar de piezas de hormigón o de cerámica, podemos reducir fácilmente:

- El canto del forjado.
- El peso propio.

Y como consecuencia de estas dos reducciones también reducimos la deformación del forjado.

En el primer caso calculado con bovedillas de hormigón se obtiene un canto útil de 21 cm., en el segundo caso calculado con bovedillas cerámicas se obtiene un canto útil de 21 cm., y en el tercer caso calculado con bovedillas de EPS se obtiene un canto útil de 20 cm. Al confeccionar la sección del forjado deberemos utilizar las bovedillas prefabricadas existentes en el mercado. Al no existir bovedillas de canto 21 cm, debemos de utilizar bovedillas de 22 cm de altura mientras que en el caso de bovedillas de EPS podemos utilizar bovedillas de 20 cm de altura. Por lo que se concluye que en este ejemplo utilizando como pieza de entrevigado bovedillas de poliestireno expandido EPS se obtiene un forjado con 2cm menos de espesor en el canto útil.

#### **4.1.1.1.9 DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS**

Para garantizar la enlazabilidad de las viguetas que forman el forjado con los apoyos que lo reciben la Instrucción EFHE establece unas disposiciones constructivas.

La Instrucción distingue dos tipos de apoyo:

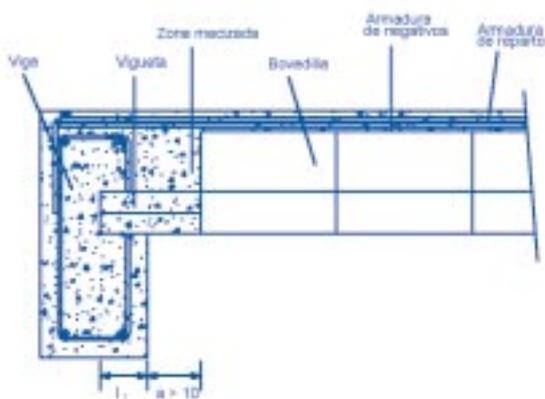
- a) Apoyo directo
- b) Apoyo indirecto

En el caso de viguetas prefabricadas los enlaces pueden ser:

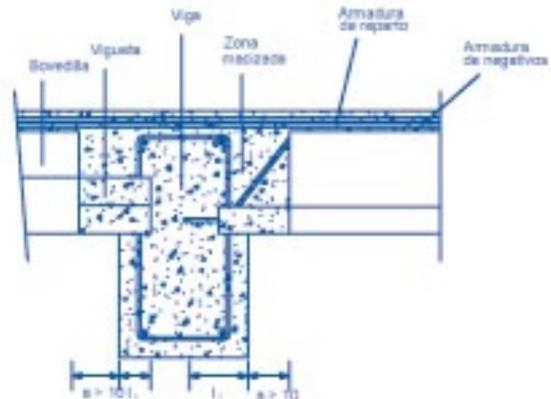
- a) - Enlace por entrega
- b) - Enlace por prolongación
- c) - Enlace por solapo

##### **4.1.1.1.9.1 Apoyo directo**

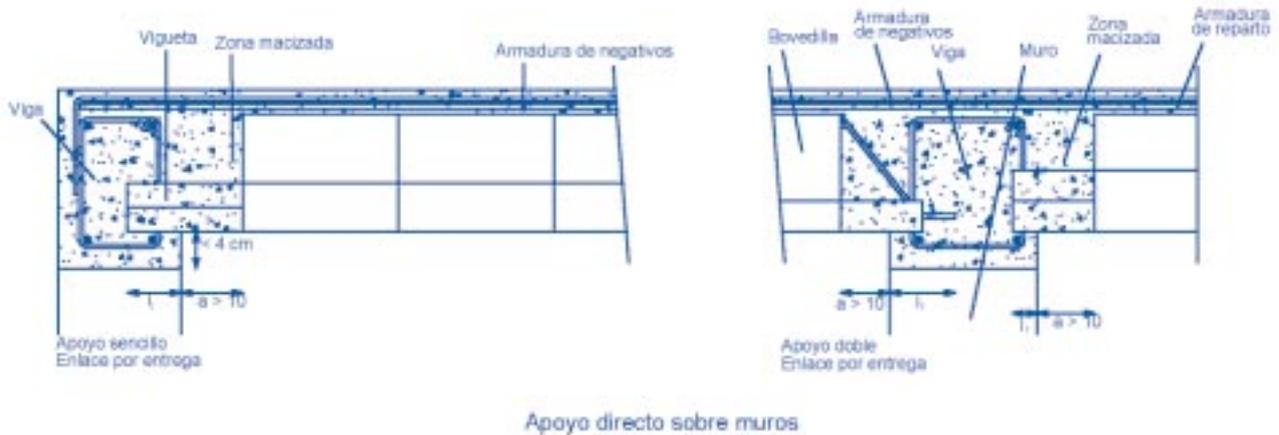
Se entiende como apoyo directo cuando un forjado es recibido por un muro de carga o una jacena de canto. En estos dos casos la Instrucción prescribe un enlace por entrega en la cual la vigueta penetra en el hormigón del apoyo.



Apoyo simple sobre viga de canto  
Enlace por entrega



Apoyo doble sobre viga de canto  
Enlace por entrega

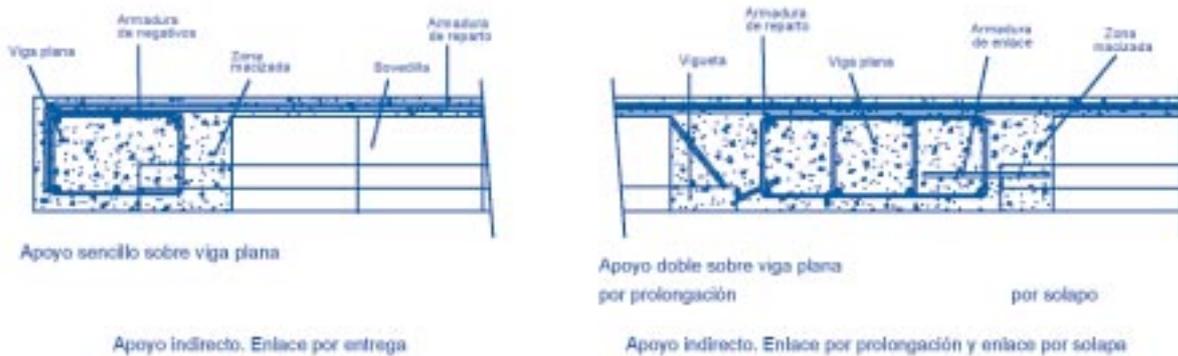


Apoyo directo sobre muros

#### 4.1.1.1.9.2 Apoyo indirecto

Se entiende como apoyo indirecto cuando un forjado es recibido por una viga plana. En estos casos la Instrucción prescribe tres tipos de enlaces:

- Enlace por entrega
- Enlace por prolongación
- Enlace por solapo



a) La longitud de penetración de la vigueta es  $l_1$ , en cm., en un enlace por entrega será:

$$l_1 = \frac{V_d \cdot s}{20 \cdot p \cdot f_{cv}} > 10 \text{ cm}$$

Siendo:

$V_d$  = Esfuerzo cortante de cálculo, en kN/m.

$s$  = Separación entre ejes de viguetas, en m.

$P$  = Perímetro de la vigueta en contacto con el hormigón vertido en obra, en m.

$f_{cv}$  = Resistencia virtual a esfuerzo cortante del hormigón vertido en obra en N/mm<sup>2</sup>.

b) En el caso de enlace por prolongación la armadura inferior de la vigueta debe prolongarse una longitud  $l_1$  igual a la longitud de anclaje necesaria para resistir una tracción de valor igual al esfuerzo cortante, en el caso de apoyos exteriores y de valor igual a la mitad del esfuerzo cortante de la vigueta en el caso de apoyos interiores sometidos a momentos negativos.

Dicha longitud se medirá desde la cara del apoyo en los casos de apoyo directo, y desde el estribo de la viga, zuncho o cabeza de la viga mixta en los casos de apoyo indirecto.

La longitud  $l_1$  debe ser mayor que 10 cm en apoyos exteriores y mayor que 6 cm en apoyos interiores.

Si el nervio o vigueta posee armadura transversal (estribo o celosía) ésta llegará, al menos, hasta la cara del apoyo en caso de apoyo directo, o hasta el estribo de la viga plana o mixta si el apoyo es indirecto.



c) En el caso de entrega por solapo, para viguetas cuya armadura longitudinal no penetre en el apoyo, se dispondrá de una armadura de enlace, capaz de absorber los esfuerzos definidos en el enlace por prolongación. La armadura de enlace deberá entrar en el apoyo la longitud 1 definida para el enlace por prolongación y dentro del nervio una longitud  $l_s$  igual o mayor que 1, equivalente a la longitud de anclaje de la armadura correspondiente.

**Comentario:**

*En el caso de forjados prefabricados las disposiciones constructivas están establecidas en el plano de montaje suministrado por el fabricante del elemento resistente.*

*En el resto de forjados, estas disposiciones constructivas estarán establecidas en el proyecto de ejecución de la obra.*

*En la ejecución de obra se comprobarán las características de las disposiciones constructivas ejecutadas y su idoneidad con el proyecto.*

**4.1.1.10 ZONAS A MACIZAR**

La Instrucción EFHE determina que los forjados con viguetas dispondrán de una zona macizada con una anchura mínima de 10 cm en todos los apoyos tanto interiores como exteriores.

En el caso de viguetas pretensadas, en los apoyos indirectos por prolongación, la zona macizada tendrá como mínimo una anchura:

$$l_1 = \frac{V_d \cdot s}{20 \cdot h_1 \cdot \tau} > 10\text{cm}$$

Siendo:

$V_d$  = Esfuerzo cortante de cálculo, en kN/m.

$s$  = Separación entre ejes de viguetas, en m.

$h_1$  = El canto total de la vigueta, en m.

$\tau$  = Resistencia del hormigón a rasante, en N/mm<sup>2</sup> que, para piezas en cola de milano o engarzadas eficazmente al hormigón, puede suponerse igual al valor  $f_{cv}$ , correspondiente al hormigón vertido en obra.

**Comentario:**

*Al igual que lo dicho con las disposiciones constructivas se deben de tomar las medidas preventivas necesarias, para que en el hormigonado del forjado no se produzca un desplazamiento de las armaduras y especialmente de las piezas de entrevigado, provocando una disminución de la zona de macizado en cabeza de vigas. Esto es especialmente importante en forjados de cubierta con pendientes.*

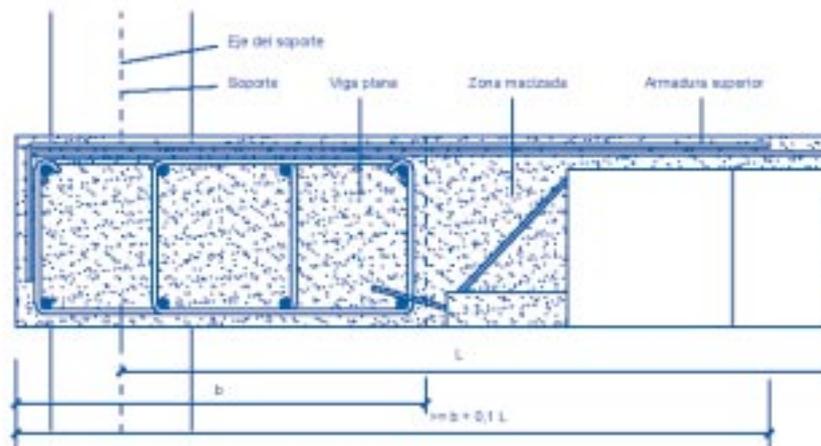
*Cuando se pretende aligerar el peso propio del forjado se debe actuar reduciendo la cantidad de hormigón del forjado y por consiguiente aumentando la superficie de piezas de entrevigado lo mas ligeras posible. Por todo ello la zona macizada en extremo de vano debe ser la obtenida en el cálculo. Esto es generalmente difícil con piezas de entrevigado cerámicas o de hormigón ya que la longitud del forjado es variable y al repartir las piezas de entrevigado en el tramo la zona macizada es mayor a la establecida en proyecto provocando un aumento del peso propio del forjado. En el caso de piezas de entrevigado de EPS, las piezas se pueden cortar fácilmente con la ayuda de serrucho y de esta forma la zona aligerada prevista en proyecto se puede ejecutar fácilmente.*



#### 4.1.1.11 ARMADURA SUPERIOR

Para que la sección de hormigón puede resistir los esfuerzos negativos se dispondrá en los apoyos de al menos una barra sobre cada nervio. En el caso de que en el dimensionado sea necesario disponer de dos armaduras estas se distribuirán sobre la línea de apoyo para no impedir que el hormigón rellene bien en nervio.

La Instrucción establece que en los apoyos exteriores de vano extremo, se dispondrá una armadura superior capaz de resistir un momento flector, al menos igual a la cuarta parte del momento del vano. Tal armadura se extenderá desde la cara exterior del apoyo en una longitud no menor que el décimo de la luz más el ancho del apoyo. En el extremo exterior la armadura se prolongará verticalmente una longitud igual al canto del forjado.



Anclaje de armadura superior en extremo

#### 4.1.1.12 RECUBRIMIENTO DE ARMADURAS

Con la aparición de las instrucciones EHE y EFHE se establece un nuevo parámetro que hasta el momento no recogían sus antecesoras. Este parámetro es la durabilidad. Se entiende por durabilidad como la capacidad para soportar<sup>18</sup> las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta la estructura y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

El principio básico para la consecución de una estructura durable consiste en lograr, en la medida de lo posible, el máximo de protección respecto al agua en todas sus formas. La mayoría de las causas de degradación que sufre el hormigón armado están relacionados con el agua. Así, en algunos casos, provienen de sustancias disueltas en el agua, que penetran a través del hormigón (por ejemplo, ataques químicos). En otras ocasiones, es el propio agua el que provoca el deterioro (por ejemplo, en mecanismos de hielo-deshielo). Finalmente, hay veces que, si bien el agua no es la causa única o suficiente, sí que es un elemento necesario para que se desarrollen los procesos de degradación (por ejemplo, en la corrosión).

Para conseguir una durabilidad adecuada la Instrucción EHE establece que las armaduras deben de disponer de un recubrimiento. Cuando se trata de armaduras principales, el recubrimiento deberá ser igual o superior al diámetro de dicha barra (o diámetro equivalente si se trata de un grupo de barras) y a 0,80 veces el tamaño máximo del árido, salvo que la disposición de armaduras respecto a los paramentos dificulte el paso del árido del hormigón, en cuyo caso se tomará 1,25 veces el tamaño máximo del árido.

Cuando se trata de armaduras pasivas (incluido los estribos) o armaduras activas pretensas, el recubrimiento no será, en ningún punto, inferior a los valores mínimos recogidos en la tabla de recubrimientos mínimos según la clase de exposición ambiental del forjado establecido en la EHE. Para garantizar estos valores mínimos, se debe prescribir en el proyecto el recubrimiento nominal que es la suma del recubrimiento mínimo más un margen en función del elemento, y que servirá para definir los separadores.

$$R_{nom} = r_{min} + \Delta r$$

<sup>18</sup> Durante la vida útil para la que ha sido proyectada la estructura



Resistencia característica del hormigón (N/mm <sup>2</sup> )	Tipo de elemento	RECUBRIMIENTO MÍNIMO (mm) SEGÚN CLASE DE EXPOSICIÓN									
		I	Ila	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc
25 ≤ f <sub>ck</sub> < 40	General	20	25	30	35	35	40	35	40	•	•
	Elementos prefabricados y láminas	15	20	25	30	30	35	30	35	•	•
f <sub>ck</sub> ≥ 40	General	15	20	25	30	30	35	30	35	•	•
	Elementos prefabricados y láminas	15	20	25	25	25	30	25	30	•	•

El margen de recubrimiento es función del tipo de elemento y del nivel de control de ejecución, y su valor es:

• 0 mm para el caso de:

- viguetas pretensadas siempre que estén sometidos a un control de recepción a nivel intenso,
- elementos prefabricados en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, o
- armadura de reparto en la losa superior de hormigón, sin función específica resistente considerada en el cálculo.

Para la aplicación de este margen de recubrimiento, y salvo en elementos que están en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, se deberá exigir que la documentación suministrada con los elementos prefabricados incluya copia de los registros de comprobación de control de recubrimientos y de posición de separadores, efectuado por el fabricante y correspondiente a la partida suministrada a obra. Para este caso, dicho control deberá incluir, al menos, seis elementos diferentes por cada pista fabricada en el caso de viguetas y dos elementos diferentes por cada pista fabricada en el caso de rosas alveolares.

• 5 mm para el caso de:

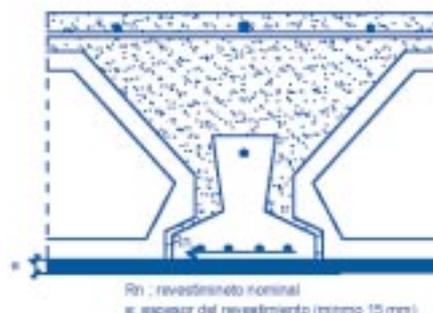
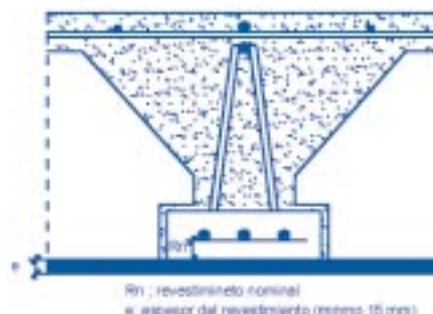
- viguetas armadas con control de recepción a nivel intenso,
- elementos prefabricados pretensados con control de recepción a nivel normal, o
- losas superiores hormigonadas en obra con nivel intenso de control de ejecución.

Para la aplicación de este margen de recubrimiento se exigirá que la documentación suministrada con los elementos prefabricados incluya copia de los registros de comprobación del control de recubrimientos y de posición de separadores, efectuado por el fabricante y correspondiente a la partida suministrada a obra. Para este caso, dicho control deberá incluir, al menos, cuatro elementos diferentes por cada pista fabricada en el caso de viguetas y dos elementos diferentes por cada dos pistas fabricadas en el caso de losas alveolares.

• 10 mm en el resto de los casos:

Se deberá exigir además, en cualquier caso, que la documentación suministrada con los elementos prefabricados incluya copia de los registros de comprobación de control de recubrimientos y de posición de separadores, efectuado por el fabricante y correspondiente a la partida suministrada a obra. Para este caso, dicho control deberá incluir, al menos, tres elementos diferentes por cada pista fabricada en el caso de viguetas y dos elementos diferentes por cada tres pistas fabricadas en el caso de losas alveolares.

La Instrucción EFHE establece, que en las viguetas el proyectista podrá contar, además del recubrimiento real del hormigón, con el espesor de los revestimientos del forjado que sean compactos e impermeables, tengan carácter de definitivos y permanentes, y estén adheridos directamente al hormigón del elemento, al objeto de cumplir los requisitos de recubrimiento mínimo. Sin embargo, en estos casos, dicho recubrimiento mínimo de hormigón nunca podrá ser menor que 15 mm. No empleando en ningún caso espesores de revestimiento mayores que 20 mm. En aquellos casos en los que el espesor del recubrimiento sustituido exigiera mayores espesores, se deberá añadir una segunda protección adicional (pintura, resina epoxi, etc.). cuyo comportamiento deberá justificarse documentalmente.



#### **4.1.1.13 ENFRENTAMIENTO DE NERVIOS**

Para transmitir las compresiones provocadas por los momentos negativos en continuidad o de voladizos es conveniente que las viguetas estén situadas alineadas a uno y otro lado del apoyo.

No obstante en algunas ocasiones esto no puede ser debido a diversos factores. Para ello la Instrucción EFHE ha establecido una serie de soluciones para los encuentros entre estos nervios en los que establece unas separaciones máximas entre nervios y longitudes de anclaje de la armadura de momentos negativos mínimas.



#### 4.1.1.2 FORJADOS UNIDIRECCIONALES CON VIGUETA METALICA

Los forjados de vigas metálicas, no son muy frecuentes en estructuras de edificación actuales, no obstante han tenido un papel muy importante a lo largo de la historia de los forjados y presentan algunas ventajas respecto los forjados de hormigón armado que en algunos casos pueden ser decisivas en su elección.

##### 4.1.1.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS FORJADOS DE VIGAS METALICAS

La viga como elemento resistente es autoresistente, por lo que esta prefabricada en su totalidad. El material de constitución es muy homogéneo (acero).

Los perfiles más habituales en los forjados metálicos son los IPN y los IPE;

El IPN tiene una sección en forma de doble T. Las caras exteriores de las alas son perpendiculares al alma y las interiores presentan una inclinación del 14 por 100 respecto a las exteriores, por lo que las alas tienen espesor decreciente hacia los bordes. Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas. Las alas tienen el borde con arista exterior viva e interior redondeada. Las dimensiones y los términos de sección de los perfiles IPN se detallan en la tabla 2.A1.1 de la NBE EA-95 "Estructuras de acero en edificación" y coinciden con los de la norma UNE 36 521.



El IPE tiene una sección en forma de doble T. Las caras exteriores e interiores de las alas son paralelas entre sí y perpendiculares al alma, y así las alas tienen espesor constante. Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas. Las alas tienen el borde con aristas exteriores e interiores vivas. La relación entre la anchura de las alas y la altura del perfil se mantiene menor que 0,66.

Las dimensiones y los términos de sección de los perfiles IPE se detallan en la tabla 2.A1.2 de la NBE EA-95 "Estructuras de acero en edificación" y coinciden con los de la norma UNE 36 526.

##### **Comentario:**

*Es muy habitual el uso de forjados metálicos en edificaciones donde la rapidez de construcción es un factor determinante, ya que el montaje es muy rápido. La estructura metálica en general es muy ligera y más flexible que la de hormigón armado, por lo que se comporta mejor en terrenos que puedan plantear asientos diferenciales.*

*Las vigas metálicas se pueden reforzar fácilmente, y disponen de cierto valor económico residual cuando finaliza su vida útil.*

*Desde el punto de vista económico las vigas metálicas son más costosas que las de hormigón y exigen un gasto más importante en protección al fuego y en su conservación. Respecto a la estabilidad estructural, las vigas metálicas se comportan peor frente a empujes horizontales, a torsión, a pandeo y a la abolladura del alma de los perfiles.*

##### 4.1.1.2.2 CALCULO DEL FORJADO

Para calcular forjados con vigas metálicas no disponemos de normativa de obligado cumplimiento, no obstante se aconseja seguir los criterios y recomendaciones establecidas por la Norma Tecnológica de la Edificación (Estructuras) NTE-EAF, (normativa de carácter voluntario).

##### **Ejemplo:**

Veamos un ejemplo de dimensionado de un forjado destinado a vivienda y formado con viguetas metálicas, y en la que vamos a utilizar piezas de aligeramiento de hormigón, cerámico y de EPS.

##### Acciones

La determinación de las sobrecargas de uso y tabiquería, así como la carga permanente son establecidas por la NBE AE-88. El peso propio se obtiene sumando los pesos propios de los diferentes elementos que forman el forjado.

ACCIONES GRAVITATORIAS CON UN FORJADO DE BOVEDILLAS DE HORMIGÓN	
CARGAS	
CONCARGA	
Peso propio	227 kg/m <sup>2</sup>
Carga permanente	100 kg/m <sup>2</sup>
Pavimento;	80 kg/m <sup>2</sup>
Enyesado;	20 kg/m <sup>2</sup>
SUMAS DE CONCARGAS	357 kg/m <sup>2</sup>
SOBRECARGAS	
Sobrecarga de uso	200 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de tabiquería	100 kg/m <sup>2</sup>
SUMAS DE SOBRECARGAS	300 kg/m <sup>2</sup>
CARGAS TOTALES	657 kg/m <sup>2</sup>

ACCIONES GRAVITATORIAS CON UN FORJADO DE BOVEDILLAS CERÁMICAS	
CARGAS	
CONCARGA	
Peso propio	200 kg/m <sup>2</sup>
Carga permanente	100 kg/m <sup>2</sup>
Pavimento;	80 kg/m <sup>2</sup>
Enyesado;	20 kg/m <sup>2</sup>
SUMAS DE CONCARGAS	300 kg/m <sup>2</sup>
SOBRECARGAS	
Sobrecarga de uso	200 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de tabiquería	100 kg/m <sup>2</sup>
SUMAS DE SOBRECARGAS	300 kg/m <sup>2</sup>
CARGAS TOTALES	600 kg/m <sup>2</sup>

ACCIONES GRAVITATORIAS CON UN FORJADO DE BOVEDILLAS DE EPS	
CARGAS	
CONCARGA	
Peso propio	136 kg/m <sup>2</sup>
Carga permanente	100 kg/m <sup>2</sup>
Pavimento;	80 kg/m <sup>2</sup>
Enyesado;	20 kg/m <sup>2</sup>
SUMAS DE CONCARGAS	236 kg/m <sup>2</sup>
SOBRECARGAS	
Sobrecarga de uso	200 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de tabiquería	100 kg/m <sup>2</sup>
SUMAS DE SOBRECARGAS	300 kg/m <sup>2</sup>
CARGAS TOTALES	536 kg/m <sup>2</sup>

**Comentario:**

Siendo este forjado y sus acciones habituales en la edificación actual vamos a analizar la incidencia del peso propio en el masa total.

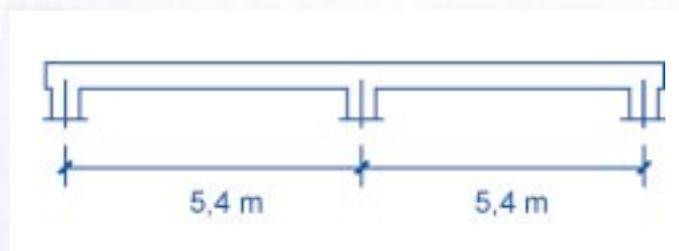
- En el primer caso el peso propio del forjado con bovedillas de hormigón es de **257 kg/m<sup>2</sup>** y el resto de acciones suman **400 kg/m<sup>2</sup>**. Se puede comprobar que el peso propio supone el 39% de la masa total, siendo esta 121 kg/m<sup>2</sup>. mayor que el forjado de poliestireno expandido (**EPS**).
- En el segundo caso, el peso propio del forjado con bovedillas de cerámica es de 200 kg/m<sup>2</sup> y el resto de acciones **400 kg/m<sup>2</sup>**. Por lo que se puede comprobar la relación entre el peso propio y la masa total casi se mantiene siendo el peso propio el 33% de la masa total. Este forjado pesa 57 kg/m<sup>2</sup> menos que el de bovedillas de hormigón y 64 kg/m<sup>2</sup> masa que el de bovedillas de poliestireno expandido (**EPS**).
- En el tercer caso el peso propio del forjado con bovedillas de poliestireno expandido (**EPS**), es de **136 kg/m<sup>2</sup>** y el resto de acciones **400 kg/m<sup>2</sup>**, por lo que la relación entre el peso propio y la masa total es del 25%.

**4.1.1.2.2.1 Criterios de cálculo**

- Hormigón; HA-25/B/15/IIa.....  $\gamma_c=1,5$
- Acero A-42.....  $\sigma_u =2600 \text{ kg/cm}^2$  (coef. 1,5)  $\sigma_{adm} =1.733 \text{ kg/cm}^2$
- Flecha admisible ..... L/400 y  $L_{vuelo}/300$
- Ponderación de cargas..... Coeficiente carga permanente 1,33  
..... Coeficiente sobrecargas 1,50

**4.1.1.2.2.1.2 Datos del forjado**

Luz del pórtico a dimensionar.





#### 4.1.1.2.2.1.3 Cálculo del forjado en teoría elástica

- 1<sup>er</sup> caso con bovedilla de hormigón.

Ponderación de cargas

$$Q = I (S+C)$$

$$Q = 0,7 (300 + 357) = 459,90 \text{ kg/ml}$$

$$Q = I [(S \cdot C_s) + (C \cdot C_c)]$$

$$Q' = 0,7 [(1,5 \cdot 300) + (1,33 \cdot 357)] = 647,37 \text{ kg/ml}$$

Q = Carga por metro lineal.

I = Intereje.

S = Suma de la sobrecargas.

C = Concarga.

C<sub>s</sub> = Coeficiente de ponderación de la sobrecarga.

C<sub>c</sub> = Coeficiente de ponderación de la concarga.

$$\sigma_{max} = Q \cdot l^2 / 8$$

$$\sigma_{max} = (647,37 \cdot 5,4^2) / 8 = 2359,66$$

Adoptando un perfil IPE 140 la tensión es:

$$\sigma^* = \sigma_{max} / W$$

$$\sigma^* = 235966 / 77.3 = 3052,60 > \sigma_{adm.} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

Adoptando un perfil IPE 160 la tensión es:

$$\sigma^* = \sigma_{max} / W$$

$$\sigma^* = 235966 / 109 = 2164,82 < \sigma_{adm.} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{flector} = Q \cdot l^2 / 8$$

$$M_{flector} = 460 \cdot 5,4^2 / 8 = 1676,7$$

$$\sigma = 1676,7 / 109 = 15,38 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de la flecha

$$f = 0,415 [( \sigma l^2 ) / h]$$

$$f = 0,415 [(15,38 \cdot 5,4^2) / 16] = 11,63 \text{ mm} < L/400 = 13,5 \text{ mm}$$

- 2<sup>o</sup> caso con bovedilla cerámica.

Ponderación de cargas

$$Q = I (S+C)$$

$$Q = 0,7 (300 + 300) = 420 \text{ kg/ml}$$

$$Q = I [(S \cdot C_s) + (C \cdot C_c)]$$

$$Q' = 0,7 [(1,5 \cdot 300) + (1,33 \cdot 300)] = 594,3 \text{ kg/ml}$$

$$\sigma_{max} = Q \cdot l^2 / 8$$

$$\sigma_{max} = (594,3 \cdot 5,4^2) / 8 = 2166,22$$

Adoptando un perfil IPE 140 la tensión es:

$$\sigma^* = \sigma_{max} / W$$

$$\sigma^* = 216622 / 77.3 = 2802,35 > \sigma_{adm.} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

Adoptando un perfil IPE 160 la tensión es:

$$\sigma^* = \sigma_{\max} / W$$
$$\sigma^* = 216622 / 109 = 1987,36 < \sigma_{adm.} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{flector} = Q \cdot l^2 / 8$$
$$M_{flector} = 420 \cdot 5,4^2 / 8 = 1530,9$$
$$\sigma = 1530,90 / 109 = 14,04 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de la flecha

$$f = 0,415 [(\sigma l^3) / h]$$
$$f = 0,415 [(14,04 \cdot 5,4^3) / 16] = 10,62 \text{ mm} < L/400 = 13,5 \text{ mm}$$

- 3er caso con bovedilla de EPS.

Ponderación de cargas

$$Q = I (S+C)$$
$$Q = 0,7 (300 + 236) = 375,2 \text{ kg/ml}$$

$$Q = I [(S \cdot C_s) + (C \cdot C_c)]$$
$$Q' = 0,7 [(1,5 \cdot 300) + (1,33 \cdot 236)] = 534,71 \text{ kg/ml}$$

$$\sigma_{\max} = Q \cdot l^2 / 8$$
$$\sigma_{\max} = (534,7 \cdot 5,4^2) / 8 = 1948,98$$

Adoptando un perfil IPE 140 la tensión es:

$$\sigma^* = \sigma_{\max} / W$$
$$\sigma^* = 194898 / 77,3 = 2521,32 < \sigma_{adm.} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{flector} = Q \cdot l^2 / 8$$
$$M_{flector} = 375,2 \cdot 5,4^2 / 8 = 1366,87$$
$$\sigma = 1366,87 / 77,3 = 17,68 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de la flecha

$$f = 0,415 [(\sigma l^3) / h]$$
$$f = 0,415 [(17,69 \cdot 5,4^3) / 14] = 15,28 \text{ cm} > L/400 = 13,5 \text{ cm}$$

Cálculo de la flecha con un perfil IPE-160.

$$M_{flector} = Q \cdot l^2 / 8$$
$$M_{flector} = 375,2 \cdot 5,42^2 / 8 = 1366,87$$
$$\sigma = 1366,87 / 109 = 12,54 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = 0,415 [(\sigma l^3) / h]$$
$$f = 0,415 [(12,54 \cdot 5,4^3) / 16] = 9,48 \text{ cm} < L/400 = 13,5 \text{ cm}$$

#### 4.1.1.2.2.1.4 Cálculo del forjado en teoría plástica

- 1er caso con bovedilla de hormigón.

Ponderación de cargas

$$Q = I (S+C)$$
$$Q = 0,7 (300 + 357) = 459,90 \text{ kg/ml}$$

$$Q = I [(S \cdot C_s) + (C \cdot C_c)]$$
$$Q' = 0,7 [(1,5 \cdot 300) + (1,33 \cdot 357)] = 647,37 \text{ kg/ml}$$



Q= Carga por metro lineal.

l = Intereje.

S = Suma de la sobrecargas.

C = Concarga.

C<sub>s</sub>= Coeficiente de ponderación de la sobrecarga.

C<sub>c</sub>= Coeficiente de ponderación de la concarga.

$$\sigma_{max} = Q \cdot l^2 / 11$$

$$\sigma_{max} = (647,37 \cdot 5,4^2) / 11 = 1716,119$$

Adoptando un perfil IPE 140 la tensión es:

$$\sigma^* = \sigma_{max} / W$$

$$\sigma^* = 171612 / 77,3 = 2.220 < \sigma_{adm.} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{flector} = Q \cdot l^2 / 8$$

$$M_{flector} = 464 \cdot 5,4^2 / 11 = 1230,02$$

$$\sigma = 1230,02 / 77,3 = 15,91 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de la flecha

$$f = 0,415 [(\sigma l^2) / h]$$

$$f = 0,415 [(15,91 \cdot 5,4^2) / 14] = 13,75 \text{ mm} > L/400 = 13,5 \text{ mm}$$

No cumple por flecha, se deberá probar con un perfil mayor.

Cálculo de la flecha con un perfil IPE-160.

$$M_{flector} = Q \cdot l^2 / 8$$

$$M_{flector} = 464 \cdot 5,4^2 / 11 = 1230,02$$

$$\sigma = 1230,02 / 109 = 11,28 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = 0,415 [(\sigma l^2) / h]$$

$$f = 0,415 [(11,28 \cdot 5,4^2) / 16] = 8,53 \text{ cm} < L/400 = 13,5 \text{ cm}$$

- 2º caso con bovedilla cerámica.

Ponderación de cargas

$$Q = l (S + C)$$

$$Q = 0,7 (300 + 300) = 420 \text{ kg/ml}$$

$$Q = l [(S \cdot C_s) + (C \cdot C_c)]$$

$$Q' = 0,7 [(1,5 \cdot 300) + (1,33 \cdot 300)] = 594,3 \text{ kg/ml}$$

$$\sigma_{max} = Q \cdot l^2 / 11$$

$$\sigma_{max} = (594,3 \cdot 5,4^2) / 11 = 1575,43$$

Adoptando un perfil IPE 140 la tensión es:

$$\sigma^* = \sigma_{max} / W$$

$$\sigma^* = 157543 / 77,3 = 2038,07 < \sigma_{adm.} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{flector} = Q \cdot l^2 / 8$$

$$M_{flector} = 420 \cdot 5,4^2 / 11 = 1114,70$$

$$\sigma = 1114,70 / 77,3 = 14,42 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de la flecha

$$f = 0,415 [(\sigma l^2) / h]$$

$$f = 0,415 [(14,42 \cdot 5,4^2) / 14] = 12,46 \text{ mm} < L/400 = 13,5 \text{ mm}$$

- 3<sup>er</sup> caso con bovedilla de EPS.

Ponderación de cargas

$$Q = l (S+C)$$

$$Q = 0,7 (300 + 236) = 375,2 \text{ kg/ml}$$

$$Q = l [(S \cdot C_s) + (C \cdot C_d)]$$

$$Q' = 0,7 [(1,5 \cdot 300) + (1,33 \cdot 236)] = 534,71 \text{ kg/ml}$$

$$\sigma_{\max} = Q \cdot l^2 / 11$$

$$\sigma_{\max} = (534,7 \cdot 5,4^2) / 11 = 1417,44$$

Adoptando un perfil IPE 120 la tensión es:

$$\sigma^* = \sigma_{\max} / W$$

$$\sigma^* = 141744 / 53 = 2674,41 > \sigma_{adm.} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

Adoptando un perfil IPE 140 la tensión es:

$$\sigma^* = \sigma_{\max} / W$$

$$\sigma^* = 141744 / 77,3 = 1833,68 < \sigma_{adm.} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{\text{flector}} = Q \cdot l^2 / 11$$

$$M_{\text{flector}} = 375,2 \cdot 5,4^2 / 11 = 994,62$$

$$\sigma = 994,62 / 77,3 = 12,86 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de la flecha

$$f = 0415 [(\sigma \cdot l^3) / h]$$

$$f = 0,415 [(12,86 \cdot 5,4^3) / 14] = 11,12 \text{ cm} < L/400 = 13,5 \text{ cm}$$

**Comentario:**

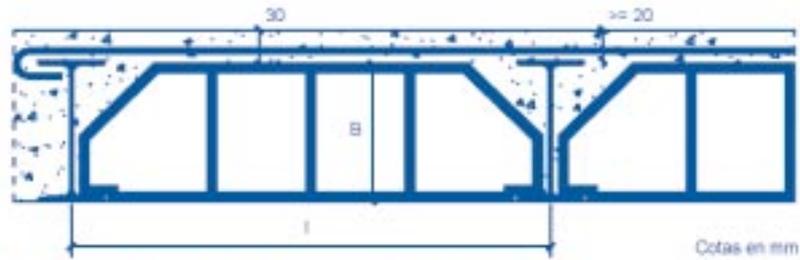
Con este ejemplo se pone de manifiesto que el peso propio del forjado influye de una forma muy importante en el dimensionado del forjado permitiendo optimizar las secciones del mismo.

En la actualidad, la utilización mas habitual de forjados metálicos, se realiza en la última planta de los edificios con estructura porticada de hormigón armado, donde por requerimientos urbanísticos, obligan a disponer de retranqueos de fachada y los requerimientos arquitectónicos exigen disposiciones de pilares diferentes al resto de la estructura. Esto se soluciona habitualmente con una estructura porticada metálica que se apoya en jácenas de apeo de hormigón armado. Estas estructuras metálicas que forman la cubierta del edificio se cubren con forjados unidireccionales de hormigón armado o metálicos. La mayor parte de estos forjados utilizan bovedillas de **poliestireno expandido EPS**, y de esta forma aligeran las cargas de las jácenas de apeo y consiguen mejorar la resistencia térmica del forjado de cubierta.



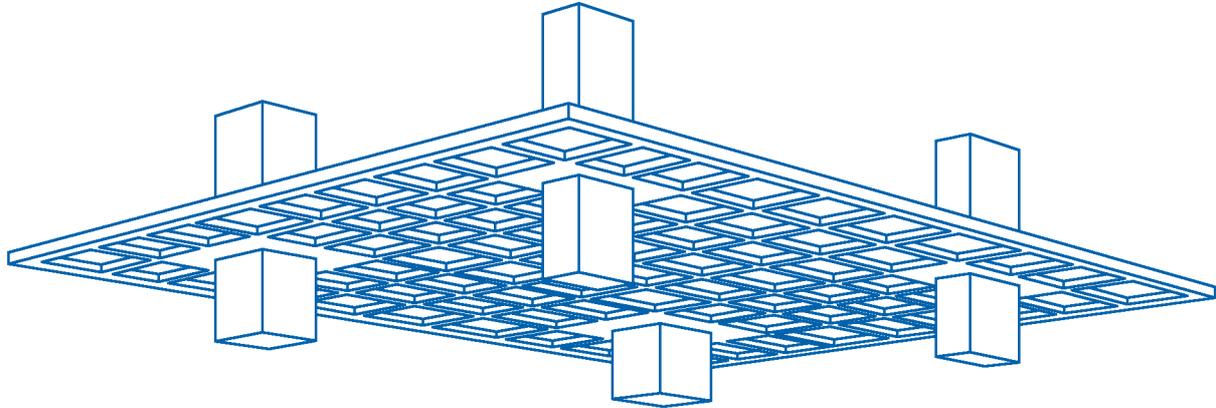
#### 4.1.1.2.3 DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS

La Norma Tecnológica de edificación NTE-EAF, establece que cuando el paramento inferior del forjado, con perfiles metálicos, deba ir guarnecido se deberá proteger el ala inferior de la viga para evitar fisuras. Al igual que en los forjados unidireccionales de hormigón armado (EFHE) se recomienda siempre el guarnecido de todo el paramento inferior, especialmente en el caso de bovedillas de poliestireno expandido. (ver apartado de protección al fuego de este manual).



### 4.1.1.3. FORJADO RETICULAR

Llamamos forjado reticular a la placa de hormigón armado aligerada, con nervios en dos direcciones perpendiculares. Este tipo de placa forma parte de la familia de la losa armada y en el ámbito de la edificación no suele presentar vigas acusadas, por lo que se considera dentro de los forjados planos.



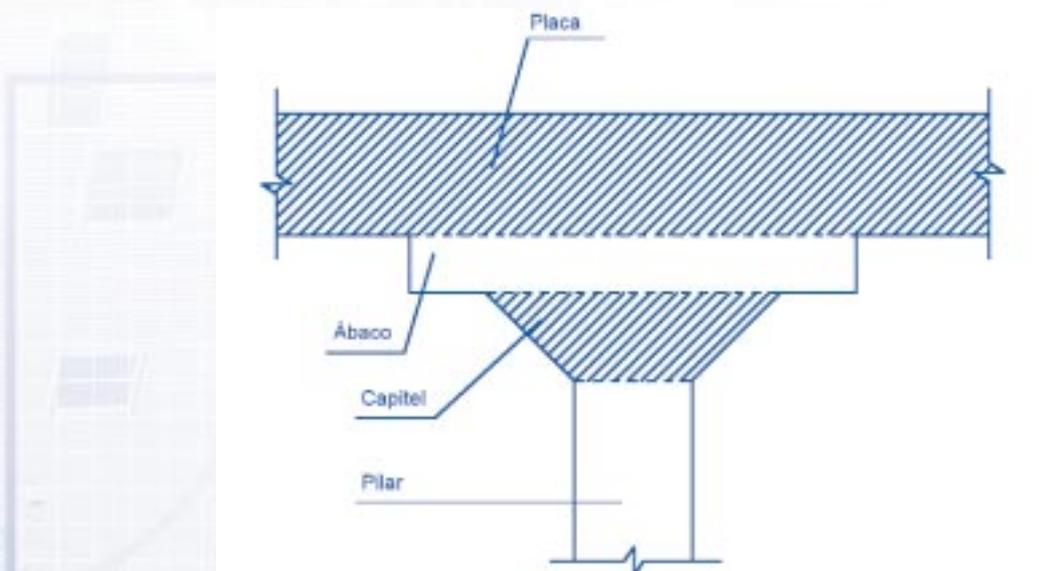
Para que un forjado reticular tenga la consideración de placa debe cumplirse que la luz mínima sea mayor que cuatro veces el canto del forjado<sup>19</sup>.

Este tipo de forjado no dispone en general, de vigas para transmitir las cargas a los apoyos y descansan directamente sobre el soporte a través de ábacos con o sin capitel.

Los parámetros que definen las características el forjado reticular son:

- La separación entre ejes de nervios.
- El espesor básico de los nervios.
- El canto total de la placa.
- La altura de la parte aligerada.
- El espesor de la placa de compresión.

El ábaco es la zona no aligerada del forjado reticular que transmite las acciones recibidas de los nervios al soporte. En general en edificación los forjados no disponen de capitel, ya que los problemas de punzonamiento no son frecuentes y en los casos que es necesario se soluciona con armadura de refuerzo, además el capitel comporta una dificultad de encofrado que lo hace ser poco competitivo con el resto de forjados.



<sup>19</sup> Según Instrucción de hormigón estructural EHE.



#### 4.1.1.2.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

La Instrucción EHE, establece que el análisis estructural de un forjado reticular puede ser:

- Análisis lineal.
- Análisis no lineal.
- Análisis con métodos simplificados.

Entre los métodos simplificados la misma instrucción propone:

- El método directo
- El método de pórticos virtuales

Con el análisis estructural se debe de comprobar

- Los Estados Limite Últimos y de Servicio de acuerdo con la combinación de acciones que establece el artículo 13 de la misma instrucción y comprobar;
- El Estado Último de Agotamiento frente a tensiones normales de las secciones de hormigón armado según el artículo 42 de la Instrucción EHE, considerando un esfuerzo de flexión equivalente que tenga en cuenta el efecto producido por los momentos flectores y torsores existentes en cada punto de la placa.
- El Estado Último de Agotamiento frente a cortante de acuerdo con las indicaciones del artículo 44 de la Instrucción EHE. En particular, se deben de comprobar los nervios en su entrega con el ábaco y los elementos de borde, vigas y zunchos.
- El Estado Último de Agotamiento por torsión en vigas y zunchos de borde según el artículo 45 de la Instrucción EHE.
- El Estado Último de Punzonamiento de acuerdo con las indicaciones del artículo 46 de la Instrucción EHE.
- Asimismo se deberá de comprobar, siempre que sea necesario los Estados Limite de fisuración, deformación y vibraciones, se acuerdo con los artículos 49, 50 y 51 de la Instrucción EHE respectivamente.

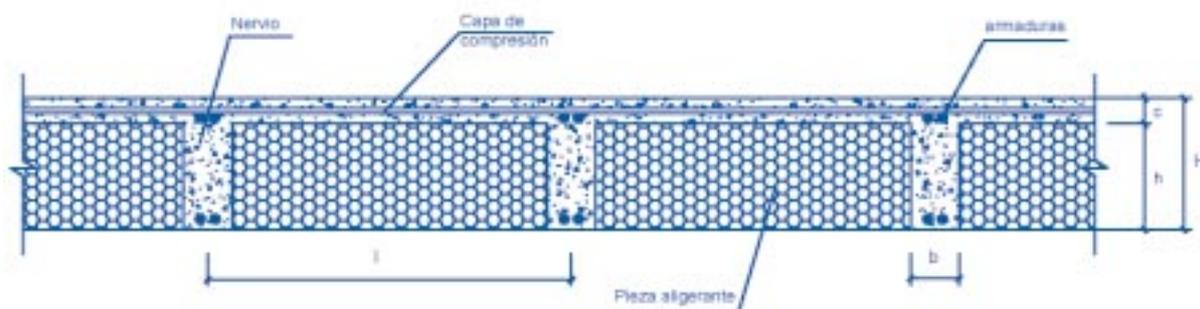
#### 4.1.1.2.5 PIEZA ALIGERANTE

A veces se tiende a pensar que existen una variedad importante de forjados reticulares ya que existen muchas patentes de moldes para el aligeramiento, que en si mismas le confieren aspectos y características que los diferencian, pero en realidad solo existen dos tipos de losas o placas de hormigón armado aligeradas:

- 1.- Placas aligeradas con bloque perdido.
  - 1.1.- Sin rotura de puente térmico.
  - 1.2.- Con rotura de puente térmico<sup>20</sup>.
- 2.- Placas aligeradas con bloque recuperable.

#### 4.1.1.2.6 NERVIOS

Los nervios son los elementos encargados de transmitir las acciones a los soportes. La separación entre nervios puede ser variable, en función del diseño estructural. La Instrucción EHE establece una separación máxima de 100 cm. La separación más habitual en el sector de la edificación es de 80x80 cm, 82x82 cm, 85x85 cm, 90x90 cm.



<sup>20</sup> Ver apartado 3.2.1.1.1.3

**Comentario:**

Para dimensionar los nervios se debe de tener en cuenta el artículo 37.2.4 de la Instrucción EHE que establece los recubrimientos mínimos que debe de disponer un elemento de hormigón armado en función de la clase de exposición. (Ver el apartado correspondiente de este manual). El objetivo de este recubrimiento mínimo, es el de garantizar la durabilidad de la armadura. En aplicación de este artículo los nervios más habituales en edificación serán de los de 12 cm y 15 cm.

#### 4.1.1.2.7 CAPA DE COMPRESIÓN

La Instrucción EHE establece que los forjados reticulares deberán de disponer de una capa de compresión no inferior a 5 cm y esta deberá de disponer de una armadura de reparto en malla.

**Comentario:**

La obligatoriedad de una capa de compresión de 5cm que según algunos estudios se manifiesta claramente excesiva, con una armadura de reparto en un forjado que dispone de nervios en ambas direcciones, cada 80 cm, es a menudo objeto de controversia y discusión entre los consultores de estructuras.

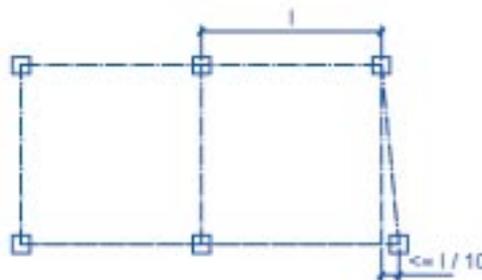
Sobre este tema es interesante el Anexo nº1 de la publicación "Cortante y Punzonamiento ; teoría y práctica (propuestas alternativas a la EHE)" del Dr Ingeniero de CCP, Florentino Regalado Tesoro, editado por CYPE Ingenieros.

#### 4.1.1.2.8 CANTO DE LA PLACA

Al igual que en los forjados unidireccionales la elección del canto del forjado, es en general la decisión mas importante en el proceso del diseño del forjado reticular y ello no es fácil ya que se debe de elegir el mismo canto de forjado para todo el forjado teniendo en cuenta que los edificios disponen de voladizos, luces interiores diferentes, desalineación de pilares, etc...

Un canto mayor soporta las acciones gravitatorias con menores tensiones y deformaciones de los elementos resistentes, pero ello supone un mayor peso y como consecuencia un mayor coste económico del forjado.

Una disminución del canto comporta tensiones más fuertes y mayores deformaciones de los elementos resistentes que forman el forjado. Para establecer el canto óptimo del forjado la Instrucción EHE establece en el artículo 56.2 que una placa aligerada debe de disponer de un canto total de espesor constante no inferior a  $L/28$ , siendo L la luz de calculo mayor entre los soportes. Este canto corresponde a una modulación ideal de la estructura con una desviación de los soportes no superior a  $l/10$  y la práctica habitual en el campo de la edificación demuestra claramente que esto no es así debido a que el forjado bidireccional, se utiliza de forma indiscriminada con desalineaciones arbitrarias y caprichosas de pilares. Este hecho y la práctica habitual de utilizar elementos de partición y división rígidos y perfectamente retacados con la estructura a conlleva una infinidad de lesiones en tabiquería por deformación de forjados.



Por todo ello y debido principalmente a la deformación que han demostrado este tipo de forjados es recomendable:

- Ser prudentes en la determinación del canto del forjado.
- Utilizar forjados más ligeros con un peso propio inferior.
- Utilizar elementos divisionarios no tan rígidos y desconectados de la estructura.

Para corregir estos hechos la Instrucción EHE establece dos procedimientos para el cálculo de la deformación. El primero consiste en un análisis estructural paso a paso en el tiempo, en los que para cada instante, las deformaciones se obtienen mediante doble integración de las curvaturas a lo largo de la pieza. Este análisis establecido en el artículo 25 de la EHE, es complejo y generalmente no se usa en edificación ya que sólo está justificado en casos muy especiales en los que el control de deformaciones requiere de una gran precisión.



Habitualmente se utiliza el método simplificado (artículo 50.2.2 de la EHE). Con este método se obtiene el canto del forjado en función de la esbeltez determinada en función del tipo de tramo y apoyo de la placa.

	Esbeltez; relación L/d
	Elemento débilmente armado ( $\rho = A_s(b_0d = 0,004)$ )
Losa bidireccional simplemente apoyado	20
Recuadro exterior y de esquina sobre apoyos aislados	22
Recuadro interior sobre apoyos aislados	25
Voladizo	9

En el caso de apoyos aislados las esbeltezes dadas se refieren a la luz mayor

**Comentario:**

El buen comportamiento del forjado reticular, especialmente en lo que respecta a la deformación, depende directamente de la elección del canto adecuado de la placa. Con el método simplificado que permite la instrucción EHE se pone de manifiesto que la deformación esta en función de:

- Del tipo de apoyo
- La luz a salvar por el forjado
- El tipo de tramo. (aislado, extremo, interior)

Este método considera que la flecha total esta compuesta por la suma de una flecha instantánea y una flecha diferida, debido a las cargas permanentes. Como resultado se obtiene un canto del forjado independientemente del peso propio del mismo.

También se puede utilizar para determinar el canto del forjado los cantos recomendados por la NTE-Estructuras o las recomendaciones de la Asociación de Consultores de Cataluña.

**Ejemplo:**

1- Determinación del canto del forjado.

L	EHE Simplemente apoyado	EHE En tramo interior	EHE En tramo exterior y de esquina	NTE	
				Carga $\leq 4$ kN/m <sup>2</sup>	Carga $> 4$ kN/m <sup>2</sup>
400 cm	20	(19) 20	(16) 20	20	20
450 cm	(23) 25	(21) 22	(18) 20	20	20
500 cm	25	(23) 25	20	20	20
550 cm	(28) 30	25	22	20	25
600 cm	30	(27) 30	(24) 25	25	25
650 cm	(33) 35	30	(26) 30	25	30
700 cm	35	(32) 35	(28) 30	25	30
750 cm	(38) 40	35	30	30	30
800 cm	40	(37) 40	(32) 35	-	-

El canto del forjado establecido entre paréntesis es el resultado de su determinación a partir de la esbeltez. El canto sin paréntesis es el resultado de considerar que en el mercado existen casetones de canto 20 cm, 22 cm, 25 cm, 30 cm y 35 cm.

2- Determinación del canto del forjado en caso de voladizos.

L	Según EHE Esbeltez L/d = 9
L < 150	Losa armada
150 cm	(16) 20
200 cm	22
250 cm	(27) 30
300 cm	(33) 35

## 4.2 CONDICIONES DE EJECUCIÓN

### 4.2.1 CONTROL DE CALIDAD

La sociedad en general, demanda cada vez más calidad en los edificios y ello incide tanto en la seguridad estructural y la protección contra incendios como en aspectos vinculados al bienestar de las personas, como pueden ser la protección contra el ruido, el aislamiento térmico etc. Por todo ello el sector de la edificación ha adaptado los modelos de gestión de calidad industriales.

Se entiende por control de calidad, la parte de la gestión de la calidad<sup>20</sup> encargada de controlar el cumplimiento de los requisitos de calidad. Entendiendo por calidad, el grado en que un conjunto de características inherentes de un producto o servicio cumple con las necesidades o expectativas establecidas (requisitos), generalmente implícitos o obligatorios.

Para poder gestionar cualquier procedimiento de control de calidad existen tres conceptos básicos en los que se basa el sistema:

- Definir la calidad
- Verificar la calidad
- Documentar la calidad

Para definir la calidad se ha de indicar las características principales exigibles al material, los valores mínimos a conseguir y las tolerancias admisibles. Estas especificaciones técnicas están establecidas en general por la legislación de carácter obligatorio para garantizar requisitos mínimos. Por otro lado el proyecto en concreto de cada edificio (o estructura) deberá de definir las características generales de la obra, mediante la adopción y justificación de soluciones concretas y con sujeción a la legislación de carácter obligatorio que le afecte; pudiendo adoptar, bajo la responsabilidad del redactor, medidas distintas a las establecidas por la normativa, que deberán estar justificadas en virtud de las condiciones particulares o en su mayor conocimiento de la materia en cuestión.

Cuando no existe normativa de obligado cumplimiento, se puede utilizar la normativa de carácter voluntario o las recomendaciones del fabricante, del proyectista o de la dirección facultativa. De forma general la definición viene establecida de la siguiente forma:

- La legislación obligatoria
  - Las Instrucciones.
  - El Código Técnico de la Edificación. (cuando se publique)
  - Las Normas Básicas de Edificación (NBE) (Quedarán derogadas a la publicación del Código técnico de la Edificación).
  - Los Decretos de certificación de conformidad a normas (antiguas homologaciones)
  - Los Pliegos de Recepción.
  - Las Normas UNE reseñadas en la legislación vigente.
- La normativa de carácter voluntario
  - Las Normas Tecnológicas de Edificación (NTE)
  - Las normas UNE no reseñadas en la legislación vigente.
  - Los protocolos de adhesión a los sellos de calidad.
  - Las Documentos de Idoneidad Técnica (DIT, DITE, DAU).
  - La Normativa de otros países.
- Cuando no haya normativa
  - Las recomendaciones de los fabricantes del producto.
  - Lo pliegos de condiciones particulares del proyecto.

La verificación de la calidad se realiza mediante comprobaciones organolépticas y/o ensayos. Las comprobaciones organolépticas comprenden las observaciones "in-situ" de la geometría, aspecto, color, marcas, desperfectos, conformidad a normas, certificaciones, marcas o sellos de calidad, marcado y etiquetado, etc.. Con los ensayos se verifica las características exigidas a los materiales.

---

<sup>20</sup> Gestión de calidad, es el conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización referida a la calidad.



La documentación consiste en obtener y archivar toda la documentación que avala la calidad exigida de los diferentes materiales o elementos constructivos; actas de laboratorio, certificados, autorizaciones de uso, etiquetaje, DIT, etc...

En el caso de los forjados la definición de la calidad mínima está establecida por la legislación de obligado cumplimiento;

- EHE- Instrucción del hormigón estructural. (Estructuras de hormigón armado)
- NBE EA-95 Estructuras de acero en edificación. (Estructuras de acero)
- EFHE Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados.
- Real Decreto 1630/1980 de 18 de julio, sobre fabricación y empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas.
- Orden de 29 de noviembre de 1989 sobre los modelos de fichas técnicas a que se refiere el real decreto 1630/1980, de 18 de julio, sobre la autorización de uso para la fabricación y empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas.
- En el caso de comunidades autónomas con competencias transferidas disponen de legislación específica en materia de control de calidad que es de obligado cumplimiento en ese territorio.

#### **4.2.2 PLAN DE CONTROL**

Corresponde a la dirección de ejecución<sup>21</sup> la realización del control de recepción conforme a lo establecido en la normativa de obligado cumplimiento y en el proyecto.

Para ello deberá establecer un plan o programa de control de los materiales y de su ejecución. Dicha planificación deberá establecer:

1. Un control documental o control previo.
2. Un control de recepción.
3. Un control de ejecución.
4. Un registro de los diferentes controles.

##### **4.2.2.1 CONTROL DOCUMENTAL**

Cuando se tenga que ejecutar un forjado semiprefabricado la Dirección Facultativa deberá solicitar al constructor, antes de la recepción de los elementos constitutivos de los forjados (viguetas, piezas de entrevigado, armaduras, etc...), las autorizaciones de uso de los forjados, debiéndose de comprobar:

1. Que la autorización de uso esta vigente en la fecha de comienzo de la construcción de los forjados.
2. Que las características físico-mecánicas del tipo de forjado elegido son iguales o superiores a las prescritas en el proyecto de ejecución del edificio.

##### **4.2.2.2 CONTROL DE RECEPCIÓN**

En el momento de recepcionar el material en la obra se deben de verificar en cada suministro, todos los parámetros establecidos previamente. Para ello se deberá de comprobar los siguiente apartados:

###### **4.2.2.2.1 ELEMENTOS RESISTENTES**

- Que en la hoja de suministro o albarán figura el material suministrado y este se corresponde con el de la autorización de uso.
- Que las viguetas o losas alveolares pretensadas llevan marcas que permitan la identificación del fabricante, tipo de elemento, fecha de fabricación y longitud del elemento, y que dichas marcas coinciden con los datos que deben figurar en la hoja de suministro.
- Que las características geométricas y de armado del elemento resistente cumplen las condiciones reflejadas en la autorización de uso y coinciden con las establecidas en los planos de los forjados del proyecto de ejecución del edificio.
- Se comprobará que los recubrimientos mínimos de los elementos resistentes cumplen las condiciones señaladas en el apartado 34.3 de la EFHE, con respecto al que consta en las autorizaciones de uso.

---

<sup>21</sup> La dirección de ejecución forma parte de la dirección facultativa

- Se recepcionará el certificado acreditativo de estar en posesión de un distintivo oficialmente reconocido (Sello CIETAN<sup>22</sup>), o, en su defecto, justificación documental firmada por persona física del control interno de fabricación de los elementos resistentes del forjado, viguetas y/o losas, aportada por el fabricante y que contendrá como mínimo:
  1. Resultados del control interno del hormigón del último mes.
  2. Resultados del control interno del producto acabado (flexión y cortante) de los últimos seis meses.
- En el caso que corresponda, certificados de garantía de:
  1. Los ensayos de resistencia a esfuerzo cortante en forjados de viguetas sin armadura transversal.
  2. Los ensayos de resistencia a esfuerzo rasante en forjados sin armadura de cosido.

#### 4.2.2.2 LAS PIEZAS DE ENTREVIGADO

- Que las características geométricas de las piezas de entrevigado cumplen las condiciones reflejadas en la autorización de uso y coinciden con las establecidas en los planos de los forjados del proyecto de ejecución del edificio.
- Certificación documental del fabricante de la pieza de entrevigado basada en ensayos sobre el cumplimiento de carga de rotura a flexión, según UNE<sup>23</sup>.
- Certificado documental del fabricante de expansión por humedad según UNE 67039:99 a las piezas de entrevigado cerámicas.
- Se aportará garantía documental del fabricante, basada en ensayos, de que el comportamiento de reacción al fuego del material con el que están fabricadas las bovedillas alcance al menos una clasificación M1, de acuerdo con UNE 23727:90 (Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Clasificación de los materiales utilizados en la construcción), en el caso de que las piezas de entrevigado no sean cerámicas o de hormigón. (Para más información sobre el comportamiento al fuego del EPS, ver apartado 5.2. de este manual).

#### 4.2.2.3 EL HORMIGÓN VERTIDO "IN-SITU"

- Se establecerá un plan de control específico según capítulo XIV y XV de la EHE, en función del nivel de control establecido en el proyecto. Para ello se confeccionarán unos lotes de hormigón fresco de los cuales se comprobará la consistencia y la resistencia, según ensayos correspondientes realizados por laboratorio acreditado por la administración. De la valoración final de dichas muestras se aceptarán o rechazarán en función del cumplimiento de los parámetros establecidos por la EHE.

#### 4.2.2.4 ARMADURAS

- Se establecerá un plan de control específico según artículo 90 de la EHE, en función del nivel de control establecido en el proyecto.
- Cuando el acero disponga de certificación se aportará certificado según artículos 31 y 32 de la EHE.
- Se aportará certificado de adherencia emitido por laboratorio acreditado.

#### 4.2.2.3 CONTROL DE EJECUCIÓN

Con carácter general se deben adoptar, en esta fase, las medidas necesarias para conseguir que las disposiciones constructivas y los procesos de ejecución se ajusten en todo a lo indicado en el proyecto y las Instrucciones EHE y EFHE.

En particular se deben cuidar de que las disposiciones y procesos sean compatibles con las hipótesis consideradas en el cálculo, especialmente en lo relativo a los enlaces (empotramientos, articulaciones, apoyos simples, etc.), y a las hipótesis introducidas durante el proceso de diseño de la estructura.

<sup>22</sup> El sello de Conformidad CIETAN, es un sello homologado por el Ministerio de Fomento con fecha 20 de enero de 1981, de acuerdo con lo dispuesto en la orden de 12 de diciembre de 1977, renovado anualmente y que ampara a las viguetas de hormigón pretensado, de hormigón armado y a las armaduras básicas para viguetas de hormigón armado, mediante certificado de aptitud.

<sup>23</sup> UNE-53981 Bovedillas de poliestireno expandido (EPS) para forjados unidireccionales con viguetas prefabricadas.  
 UNE-53976 Bovedillas de poliestireno expandido (EPS) para forjados unidireccionales hormigonados en obra.  
 UNE-53974 Bovedillas de poliestireno expandido (EPS) para forjados reticulares.  
 UNE 67037 Bovedillas de otros materiales



Todas las manipulaciones y, en particular el transporte, montaje y colocación de las piezas prefabricadas, deberán ser objeto de estudios previos. Será preciso también justificar que se han previsto todas las medidas necesarias para garantizar la seguridad, la precisión en la colocación y el mantenimiento correcto de las piezas en su posición definitiva, antes y durante la ejecución haciendo un especial atención en las juntas construidas en obra. (Vigueta-hormigón-bovedilla)

Si durante el proceso constructivo, la ejecución del forjado sufre alguna modificación sustancial, ésta deberá de quedar reflejada en la correspondiente documentación complementaria; proyecto modificado, libro de ordenes y asistencias, plan de control, etc...

#### **4.2.2.3.1 COMPROBACIONES DE REPLANTEO Y GEOMÉTRICAS**

##### **4.2.2.3.1.1 - Comprobación de cotas, niveles y geometría**

Se comprobarán las disposiciones de los diferentes elementos, comprobando sus dimensiones, alineación, geometría, etc...:

- Pilares, muros o paredes de carga, etc...
- Jácenas, vigas, nervios, viguetas, zunchos, etc...
- Piezas de entrevigado, macizados, agujeros, pasatubos, etc...

##### **4.2.2.3.1.2 - Comprobación de tolerancias admisibles**

Se comprobarán que los diferentes elementos cumplen las tolerancias establecidas:

- En el proyecto de ejecución.
- En el pliego de condiciones técnicas.
- Y en su defecto las establecidas en el anejo 10 de la Instrucción EHE.

#### **4.2.2.3.2 APUNTALADO, SOPANDAS, CIMBRAS Y ANDAMIAJES**

Se dispondrán durmientes de reparto para el apoyo de los puntales. Si los durmientes de reparto descansan directamente sobre el terreno, habrá que cerciorarse de que no puedan asentar en él. Los puntales se arriostrarán en las dos direcciones, para que el apuntalado sea capaz de resistir los esfuerzos horizontales que puedan producirse durante la ejecución de los forjados.

En caso de forjados de peso propio mayor que  $3 \text{ kN/m}^2$  o cuando la altura de los puntales sea mayor que 4 m se realizará un estudio detallado del sistema de apuntalamiento, que figurará en el proyecto.

##### **4.2.2.3.2.1 Colocación de sopandas**

En el caso de forjados unidireccionales formados con viguetas semiresistentes estos deberán de disponer de sopandas en su fase de hormigonado. Estas sopandas estarán separadas una distancia máxima que deberá de estar indicada en los planos de montaje o de ejecución del forjado y que facilitara el fabricante del sistema de forjados. En la fase de ejecución la Dirección Facultativa comprobará las distancias de las sopandas de acuerdo con el cálculo indicado en el apartado 16. I de la Instrucción EFHE.

##### **4.2.2.3.2.1.1 Cálculo de la distancia de sopandas**

La determinación de la separación de las sopandas se realizará mediante un cálculo en que se deberá de tener en cuenta los siguientes valores:

- Durante el hormigonado en obra, la acción característica de ejecución sobre las viguetas es el peso propio total del forjado y una sobrecarga de ejecución no menor que  $1 \text{ kN/m}^2$ .
- La luz de cálculo de cada tramo  $L_a$  se medirá entre los apoyos extremos de las viguetas y los ejes de sopandas, según el gráfico del apartado 4.1.1.1.8.4.3
- Las solicitaciones se calcularán por el método lineal, en la hipótesis de rigidez constante de la vigueta.
- Los coeficientes parciales de seguridad  $\gamma_g$  y  $\gamma_q$  de las acciones en fase de ejecución pueden ser menores a los indicados en el apartado 12.1 de la- Instrucción EHE, pero en ningún caso el coeficiente de seguridad global de las acciones  $\gamma_f$  será menor que 1,25.

#### 4.2.2.3.2.1.2 Comprobaciones a realizar:

Se verificará que, en las viguetas de hormigón armado o pretensado, el Estado Límite Último, dispone de las siguientes condiciones:

$$\gamma_f M_1 \leq M_{U1}, \quad \gamma_f M_2 \leq M_2 \quad \gamma_f V \leq V_U$$

En general los valores  $M_{U1}$  y  $M_{U2}$  figuran en la parte inferior de la primera hoja de la ficha de características técnicas del forjado.

En Estado Límite de Servicio, bajo la acción característica de peso propio del forjado, la flecha  $w$  de todo tramo de vigueta o losa alveolar pretensada cumplirá la condición:

$$w \leq L_a / 1.000 \text{ (en viguetas } w \leq 3\text{mm.)}$$

Siendo

$L_a$ , = La luz de cálculo de acuerdo con el apartado 16.1.b. expresada en mm

En viguetas de hormigón pretensado se verificará que:

a) sobre las sopandas:

- en la fibra inferior:  $\sigma'_c + \gamma_f M_1 / W' < 0,6 f_{ck}$
- en la fibra superior:  $\sigma''_c - \gamma_f M_1 / W'' < f_{ct,fi}$

b) en los vanos:

- en la fibra inferior:  $\sigma'_c + \gamma_f M_2 / W' < 0$
- en la fibra superior:  $\sigma''_c + \gamma_f M_2 / W'' < 0,6 f_{ck}$

siendo:

$M_1, M_2$  = Los momentos flectores en la vigueta o losa alveolar pretensada, en valor absoluto, debidos a las acciones de ejecución, sobre sopanda y en vano, respectivamente.

$M_{U1}, M_{U2}$  = Los momentos flectores últimos que resiste la vigueta o losa alveolar pretensada, en valor absoluto, a flexión negativa y a flexión positivo, respectivamente.

$V$  = El esfuerzo cortante máximo en la vigueta o losa alveolar pretensada, en valor absoluto, debido a las acciones de ejecución.

$V_U$  = El esfuerzo cortante último, en valor absoluto, que resiste la vigueta o losa alveolar pretensada;

$f_{ck}$  = La resistencia característica a compresión del hormigón de la vigueta o losa alveolar pretensada, en Nmm<sup>2</sup>

$f_{ct,fi}$  = La resistencia a flexotracción del hormigón de la vigueta o losa alveolar pretensada, que puede suponerse simplificada igual  $0,37 \cdot \sqrt[4]{f_{ck}^2}$ , para  $f_{ct,fi}$  y  $f_{ck}$ , en N/mm<sup>2</sup>.

$\sigma'_c$   $\sigma''_c$  = Las tensiones del hormigón en las fibras inferior y superior de la vigueta después de la transferencia, deducidas todas las pérdidas hasta la fecha de ejecución del forjado con signo positivo si son de compresión.

$W', W''$  = Los módulos resistentes de la sección homogeneizada de la vigueta correspondiente a la fibra inferior y superior, respectivamente.

$\gamma_f$  = Coeficiente de seguridad global de las acciones que, de acuerdo con el artículo 16. 1.d) de la EFHE se tomará mayor o igual a 1,25.

Como ejemplo de aplicación se puede comprobar la tabla de un fabricante de viguetas pretensadas, con la separación de las sopandas en función de la sobrecarga que actúa en el forjado y la vigueta elegida. En ella se puede observar como **en forjado que utiliza piezas de entrevigado de poliestireno expandido dispone de una separación mayor que el resto de forjados que utilizan piezas de entrevigado de hormigón o cerámica**. La separación entre sopandas de un forjado con bovedillas de hormigón y un forjado con bovedillas de EPS llega a ser, en algún caso, superior a 40 cm. También se puede observar que **en un forjado con piezas de entrevigado de hormigón con la vigueta modelo T6 se puede cubrir una luz de 340 cm sin necesidad de sopandas con un forjado con piezas de entrevigado de poliestireno expandido EPS se puede cubrir una luz de 461 cm. (diferencia 121 cm)**



LUCES	T6	T-5	T-4	T3	T-2		SOBRECARGA		T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
MAX.CON	6,28	5,75	5,19	4,51	3,63		250		3,86	4,80	5,51	6,13	6,41
APOYO	5,19	5,12	4,62	4,01	3,23		380		3,45	4,28	4,92	5,29	5,31
SIMPLE (m)	5,26	4,93	4,45	3,86	3,11		430		3,32	4,13	4,74	5,27	5,37
AMBIENTE II-	5,03	4,60	4,15	3,61	2,90		530		3,11	3,86	4,43	4,93	5,25
y BOVEDILLA	4,44	4,06	3,67	3,18	2,56		750		2,75	3,41	3,92	4,36	4,76
DE HORMIGÓN	3,60	3,60	3,28	2,85	2,29		1000		2,46	3,06	3,51	3,91	4,16
LUCES	T-6	T-5	T-4	T-3	T-2		SOBRECARGA		T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
MAX.CON	6,48	6,10	5,50	4,78	3,85		250		4,08	5,07	5,83	6,48	6,61
APOYO	5,33	5,31	4,84	4,20	3,38		380		3,60	4,48	5,14	5,43	5,44
SIMPLE (m)	5,40	5,14	4,64	4,03	3,24		430		3,46	4,30	4,94	5,49	5,51
AMBIENTE II-	5,22	4,77	4,31	3,74	3,01		530		3,22	4,00	4,59	5,11	5,38
y BOVEDILLA	4,57	4,18	3,77	3,28	2,64		750		2,82	3,51	4,03	4,48	4,89
CERAMICA	3,77	3,72	3,36	2,91	2,35		1000		2,52	3,12	3,59	3,99	4,34
LUCES	T-6	T-5	T-4	T-3	T-2		SOBRECARGA		T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
MAX.CON	6,69	6,47	5,84	5,07	4,08		250		4,32	5,37	6,17	6,80	6,82
APOYO	5,47	5,45	5,06	4,40	3,54		380		3,77	4,68	5,38	5,57	5,58
SIMPLE (m)	5,55	5,36	4,84	4,20	3,38		430		3,60	4,48	5,14	5,65	5,66
AMBIENTE II-	5,40	4,95	4,47	3,88	3,12		530		3,30	4,14	4,76	5,29	5,51
y BOVEDILLA	4,70	4,30	3,88	3,37	2,71		750		2,90	3,60	4,14	4,60	5,02
DE POREX	3,93	3,80	3,43	2,98	2,40		1000		2,57	3,19	3,67	4,08	4,45
LUZ MÁXIMA	3,40	3,40	3,40	3,40	2,99		B.Hormigón		3,18	3,73	3,83	3,83	3,83
SIN	3,94	3,94	3,94	3,78	3,22		B.Ceramica		3,41	4,00	4,34	4,40	4,40
APUNTALAR	4,61	4,61	4,44	4,09	3,49		B.Porex		3,67	4,31	4,67	4,92	5,06

#### 4.2.2.3.2 Revisión del montaje

Se comprobará que las cimbras, así como las uniones entre sus distintos elementos, dispone de una resistencia y rigidez suficientes para garantizar y resistir sin asientos ni deformaciones perjudiciales las acciones de cualquier naturaleza que puedan producirse sobre ellos, como consecuencia del proceso de hormigonado y especialmente bajo las presiones del hormigón fresco o los efectos del sistema utilizado de compactación.

#### 4.2.2.3.3 VIGUETAS

##### 4.2.2.3.3.1 Transporte, descarga y manipulación

Se seguirán las instrucciones indicadas por los fabricantes del sistema de forjado en lo referente a la manipulación mecánica mediante grúa o manual, prestando especial atención con las viguetas pretensadas y armadas que pueden ser dañadas por una incorrecta manipulación. En general se evitarán los golpes en las viguetas.

Si alguna vigueta resultase dañada, de forma que se pudiera sospechar que la lesión afectase a su capacidad portante, deberá desecharse.

##### 4.2.2.3.3.2 Acopio

Se seguirán las instrucciones indicadas por los fabricantes del sistema de forjado por lo que se refiere al acopio de viguetas, no obstante y a falta de dichas instrucciones, las viguetas se apilarán limpias sobre durmientes de madera, que coincidirán en la misma vertical con los vuelos, en su caso, no mayores que 0,50m, ni alturas de pilas superiores a 1,50 m.

#### 4.2.2.3.3 Identificación

Se identificarán las viguetas organolépticamente mediante control documental, comprobando el albarán de compra, etiquetado y autorización de uso.

#### 4.2.2.3.4 Montaje

Para el montaje se deberá de interpretar la documentación contenida en el proyecto de ejecución de la estructura realizado por el proyectista o, en su defecto, por la dirección facultativa y en su caso en los planos de montaje de la empresa fabricante del forjado prefabricado.

En los planos deberá de figurar como mínimo, el tipo de forjado previsto para cada zona, indicando interejes, espesores, anchos de nervios, zonas de macizado y zonas aligeradas, armados, apeos, detalles, paso de instalaciones, etc.

El constructor se ajustará en todo caso a lo indicado en los planos de montaje del forjado. En caso de duda o variaciones inevitables deberá de consultar a la dirección facultativa. No se deberá de colocar vigas o nervios en lugares diferentes a los indicados en los planos.

La colocación de las vigas debe empezar una vez colocadas las sopandas y montando las viguetas con el intereje previsto utilizando las piezas de entrevigado del extremo. Finalizado esta fase, se ajustarán los puntales y se procederá a la colocación de las restantes piezas de entrevigado.

Se debe de comprobar especialmente la correcta colocación de los elementos resistentes, comprobando el enlace y/o apoyo de las viguetas, las zonas de macizado, los nervios transversales en el caso de forjados unidireccionales, etc...



#### 4.2.2.3.4 PIEZAS DE ENTREVIGADO

##### 4.2.2.3.4.1 Acopio y almacenaje

En el acopio de las piezas y de los materiales que forman el forjado se seguirán las instrucciones de la dirección facultativa y las recomendaciones de los fabricantes. En cualquier caso y a falta de otras indicaciones se pueden seguir las recomendaciones para la ejecución de forjados unidireccionales de la Comisión del Sello CIETAN, IETcc.

En el caso de utilizar piezas de aligeramiento de poliestireno expandido (EPS), estas se apilarán en montones estables, manejándolas manualmente o por medios mecánicos convenientemente empaquetadas. En el caso de almacenaje se debe de tener en cuenta las siguientes instrucciones de precaución.

- Se tomarán las precauciones necesarias para evitar el contacto del EPS con fuentes de ignición mientras se manipula o almacena este material antes y después de la instalación.
- Las piezas de entrevigado de poliestireno expandido se suministran encintadas, por lo que no se deben desempaquetar hasta el momento de su colocación. Debido a su poco peso pueden ser transportadas por el efecto del viento.

##### 4.2.2.3.4.2 Identificación

Se identificarán las piezas de entrevigado organolépticamente mediante control documental, comprobando el albarán de compra, etiquetado, autorización de uso y certificados establecidos en el control documental.



#### 4.2.2.3.4.3 Colocación

Para la colocación de las piezas de entrevigado se deberá de interpretar la documentación contenida en el proyecto de ejecución del forjado.

La colocación de las piezas de entrevigado debe empezarse por los extremos. Una vez colocadas estas, se ajustaran los puntales y se procederá a la colocación de las restantes piezas de entrevigado. Al igual que lo dicho con las disposiciones constructivas se deben de tomar las medidas preventivas necesarias, para que en el hormigonado del forjado no se produzca un desplazamiento de las armaduras y especialmente un desplazamiento longitudinal de las piezas de entrevigado, provocando una disminución de la zona de macizado en la cabeza de las vigas. Esto es especialmente importante en forjados de cubierta con pendientes.

#### 4.2.2.3.4.4 Rendimiento económico

El sector de la construcción tiene una serie de características específicas que lo diferencian del resto de los sectores industriales. El principal y mas importante es gran consumo de mano de obra que es necesario para desarrollar todas y cada una de sus actividades. Por todo ello, el sector tiende cada vez más a sistemas constructivos prefabricados o semi-prefabricados. **Los materiales más livianos y ligeros tienden a facilitar y mejorar los rendimientos de la mano de obra permitiendo construir una cantidad mayor de superficie reduciendo el coste o inversión en mano de obra.** Entre estos materiales se encuentran las piezas de entrevigado de EPS. Como se puede comprobar en las tablas adjuntas las bovedillas y casetones de EPS reducen la inversión en mano de obra debido a su ligereza y características propias de EPS que facilitan su replanteo, manejo y colocación en obra.

TABLA DE RENDIMIENTO EN LA COLOCACIÓN DE CASETONES								
TRABAJO A REALIZAR	RENDIMIENTO				COSTE ECONÓMICO DE LA MANO DE OBRA			
	OPERARIO	TIPO DE PIEZA ENTREVIGADO			€/HORA	COSTE TOTAL		
		HORMIGÓN	CERÁMICA	EPS*		HORMIGÓN	CERÁMICA	EPS*
<b>FORJADO BIDIRECCIONAL "RETICULAR"</b>								
<i>Replanteo de casetones con cordel de marcar, tiza o carboncillo, en una planta alineada.<sup>24</sup></i>	Oficial 1ª	0,012	0,012	0,00	17,23 €	0,21 €	0,21 €	0,00 €
	Peón	0,012	0,012	0,00	14,43 €	0,17 €	0,17 €	0,00 €
<i>Replanteo de casetones con cordel de marcar, tiza o carboncillo, en una planta no alineada.</i>	Oficial 1ª	0,020	0,020	0,00	17,23 €	0,34 €	0,34 €	0,00 €
	Peón	0,020	0,020	0,00	14,43 €	0,29 €	0,29 €	0,00 €
<i>Replanteo de casetones con cordel de marcar, tiza o carboncillo, en una planta totalmente.</i>	Oficial 1ª	0,032	0,032	0,00	17,23 €	0,55 €	0,55 €	0,00 €
	Peón	0,032	0,032	0,00	14,43 €	0,46 €	0,46 €	0,00 €
<i>Cargar, elevación, descarga y colocación en su lugar de los casetones, Retirada del material roto o en malas condiciones.</i>	Oficial 1ª	0,00	0,00	0,00	17,23 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
	Peón	0,19	0,17	0,15	14,43 €	2,74 €	2,45 €	2,16 €

\* Sistemas prefabricados

#### Comentario:

Las de piezas de aligeramiento de EPS reducen el rendimiento de la mano de obra necesaria para construir un forjado sea este unidireccional o reticular. Esto comporta beneficios par el promotor, el constructor y el trabajador.

- Para el promotor se reduce el coste de construcción.
- El constructor mejora su competitividad<sup>25</sup>.
- El trabajador mejora su rendimiento invirtiendo menos esfuerzo en ello. (Las piezas de EPS son las más livianas)

<sup>24</sup> El replanteo de los nervios para la colocación de las piezas de aligeramiento no es necesario en la formación de forjados con rotura de puente termico, ya que la tabla o base del sistema, conforma la reticula del forjado

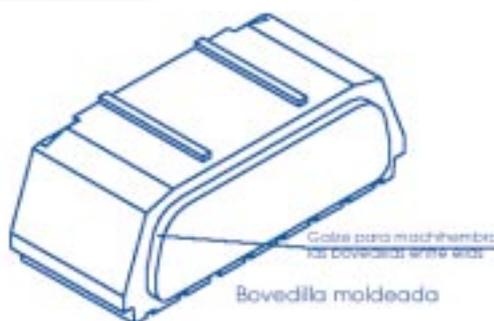
<sup>25</sup> Competitividad, es la capacidad estructural de una empresa para generar beneficios a través de sus procesos productivos, organizativos y de gestión

**TABLA DE RENDIMIENTO EN LA COLOCACIÓN DE BOVEDILLAS <sup>26</sup>**

TRABAJO A REALIZAR	RENDIMIENTO				COSTE ECONÓMICO DE LA MANO DE OBRA			
	OPERARIO	TIPO DE PIEZA ENTREVIGADO			€/HORA	COSTE TOTAL		
		HORMIGÓN	CERÁMICA	EPS		HORMIGÓN	CERÁMICA	EPS
<b>FORJADO UNIDIRECCIONAL FORMADO CON SEMIVIGUETAS O VIGUETAS PREFABRICADAS</b>								
Cegado de una cara de las bovedillas de 60 cm de ancho, mediante pasta de yeso. Apilado de las bovedillas en condiciones de colocarlas.	Oficial 1ª	0,00	0,00	0,00	17,23 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
	Peón	0,10	0,10	0,00	14,43 €	1,44 €	1,44 €	0,00 €
Cegado de una cara de las bovedillas de 70 cm de ancho, mediante pasta de yeso. Apilado de las bovedillas en condiciones de colocarlas.	Oficial 1ª	0,00	0,00	0,00	17,23 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
	Peón	0,11	0,11	0,00	14,43 €	1,59 €	1,59 €	0,00 €
Cegado de una cara de las bovedillas de 80 cm de ancho, mediante pasta de yeso. Apilado de las bovedillas en condiciones de colocarlas.	Oficial 1ª	0,00	0,00	0,00	17,23 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
	Peón	0,12	0,12	0,00	14,43 €	1,73 €	1,73 €	0,00 €
Cegado de una cara de las bovedillas de 60 cm de ancho, mediante pasta de mortero. Regado de la bovedilla y limpieza de la parte cegada. Apilado de las bovedillas en condiciones de colocarlas.	Oficial 1ª	0,00	0,00	0,00	17,23 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
	Peón	0,09	0,09	0,00	14,43 €	1,29 €	1,29 €	0,00 €
Cegado de una cara de las bovedillas de 70 cm de ancho, mediante pasta de mortero. Regado de la bovedilla y limpieza de la parte cegada. Apilado de las bovedillas en condiciones de colocarlas.	Oficial 1ª	0,00	0,00	0,00	17,23 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
	Peón	0,10	0,10	0,00	14,43 €	1,43 €	1,43 €	0,00 €
Cegado de una cara de las bovedillas de 80 cm de ancho, mediante pasta de mortero. Regado de la bovedilla y limpieza de la parte cegada. Apilado de las bovedillas en condiciones de colocarlas.	Oficial 1ª	0,00	0,00	0,00	17,23 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
	Peón	0,19	0,17	0,15	14,43 €	1,59 €	1,59 €	2,16 €
Carga de bovedillas, elevación con grúa, descarga y colocación en su lugar. Retirada del material roto o en malas condiciones.	Oficial 1ª	0,00	0,00	0,00	17,23 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
	Peón	0,14	0,12	0,10	14,43 €	2,02 €	1,73 €	1,43 €

**Comentario:**

Como se puede comprobar en la tabla adjunta, la utilización de bovedillas de EPS reduce la inversión necesaria en mano de obra, ya que por un lado a las bovedillas de EPS no es necesario cegarlas y por el otro al ser más livianas aumentan el rendimiento de mano de obra en la manipulación manual de las piezas. Tal y como se ha comentado en el apartado correspondiente, las piezas de entrevigado de EPS pueden ser moldeadas o mecanizadas. Las mecanizadas son piezas macizas, motivo por el cual no es necesario cegar las piezas, que se colocaran en el límite entre la zona de aligeramiento del forjado, con las jacenas, zunchos y zonas a macizar. Las piezas de entrevigado moldeadas disponen de uno de sus lados ciego, donde la pieza forma un galce que va machihembrando las piezas entre sí. Los fabricantes de bovedillas moldeadas pueden suministrar piezas para cegar la última pieza y en el caso de no disponer de esta piezas o tablas de EPS, simplemente girando la última pieza, se ciega la zona aligerada del forjado.



<sup>26</sup> Para la confección de estas tablas se ha utilizado los rendimientos de la Confederación Nacional de la Construcción CNC y las tablas de los Convenios Colectivos del Trabajo de la Construcción y Obras Públicas publicadas por la Federación de entidades Empresariales de la Construcción.



#### **4.2.2.3.5 ARMADURAS**

##### **4.2.2.3.5.1 Almacenamiento**

En el acopio de las armaduras se seguirán las instrucciones de la dirección facultativa y las recomendaciones de los fabricantes. En todo caso se comprobará que las armaduras estén exentas de pinturas, grasa o cualquier otra sustancia nociva que pueda afectar negativamente al acero, al hormigón o a la adherencia entre ambos.

Se deberá rechazar la armadura que presente un nivel de oxidación excesivo.

##### **4.2.2.3.5.2 Tipo, diámetro y posición**

Se identificarán las armaduras colocadas comprobando:

- El tipo de acero.
- El país de fabricación.
- El fabricante de la armadura.

Se comprobará el diámetro y verificará su posición de acuerdo con los planos de ejecución. Salvo instrucciones en contra la armadura de negativos se deberá colocar preferentemente bajo la armadura de reparto. No obstante se podrá colocar encima de ella, siempre que ambas cumplan las condiciones requeridas para los recubrimientos y está debidamente asegurado el anclaje de la armadura de negativos sin contar con la armadura de reparto.

El recubrimiento de cualquier armadura respecto a las piezas de entrevigado debe fijarse en la hipótesis que la separación de la misma respecto la pieza, corresponde a la clase de exposición 1.

##### **4.2.2.3.5.3 Corte y doblado**

Se comprobará que las armaduras dobladas se ajustan a los planos e instrucciones del proyecto.

##### **4.2.2.3.5.4 -Tolerancias de colocación**

Se comprobará que la disposición de las armaduras permita un correcto hormigonado del forjado, permitiendo que las barras y los grupos de barras estén envueltas por el hormigón, teniendo en cuenta las limitaciones que impone el empleo de vibradores internos.

##### **4.2.2.3.5.5 -Recubrimientos y separación entre armaduras. Utilización de separadores y distanciadores**

Se comprobará la calidad de los separadores y que la distancia máxima entre los mismos sea conforme con lo establecido en los apartados 37.2 y 37.6 de la Instrucción EHE.

Se comprobará la fijación de la armadura pasiva, verificando que el vertido no afecte a su posición ni provoque desplazamientos.

##### **4.2.2.3.5.6 -Estado de vainas, anclajes y empalmes y accesorios**

Se comprobará que las vainas, longitudes de anclaje, empalmes y accesorios cumple con los establecidos por el proyecto y por la instrucción EHE.

#### **4.2.2.3.6 TRANSPORTE, VERTIDO Y COMPACTACIÓN**

##### **4.2.2.3.6.1 Tiempos de transporte**

Se comprobará que el tiempo transcurrido entre la adición de agua del amasado al cemento y a los áridos y la colocación del hormigón en la obra, no sea mayor de hora y media. En tiempo caluroso, o bajo condiciones que contribuyan a un rápido fraguado del hormigón, el tiempo límite deberá ser inferior, a menos que se adopten medidas especiales que, sin perjudicar la calidad del hormigón, aumenten el tiempo de fraguado.

#### 4.2.2.3.6.2 Condiciones previas al vertido

Previamente al vertido del hormigón se debe inspeccionar la superficie de la vigueta y la pieza de entrevigado para garantizar que la cohesión entre el hormigón de la vigueta y el hormigón vertido in-situ no se vea afectado por la presencia de materiales interpuestos entre ellos como pueden ser:

- polvo.
- lechadas.
- barro.
- restos de piezas de aligeramiento o de su embalaje.
- restos de madera.
- restos de alambres o ferralla, etc...

Es práctica habitual el limpiar la superficie, de hormigonado, mediante chorro de agua, pero se debe de recordar que respecto al grado de humedad de la superficie de estos materiales, especialmente en el hormigón de las viguetas es preferible tender a que su superficie sea seca que excesivamente húmeda.



#### 4.2.2.3.6.3 Condiciones de vertido: método, secuencia, altura máxima, etc.

No se debe aceptar la colocación en obra de masas de hormigón que acusen un principio de fraguado.

Se deben de adoptar las debidas precauciones para evitar la disgregación de la mezcla en el proceso vertido y colocación de la masa de hormigón en obra, incluso cuando estas operaciones se realicen de un modo continuo mediante conducciones apropiadas.

No se deben de colocar en obra capas o tongadas de hormigón cuyo espesor sea superior al que permita una compactación completa de la masa, teniendo presente que el espesor de las capas o tongadas en que se extienda el hormigón estará en función del método y eficacia del procedimiento de compactación empleado. Como regla general, este espesor estará comprendido entre 30 y 60 centímetros.

No es recomendable el vertido en grandes cantidades y su posterior distribución por medio de vibradores ya que produce una notable segregación en la masa del hormigón.

Se debe tener especial cuidado en evitar el desplazamiento de armaduras y piezas de entrevigado.

El vertido del hormigón en caída libre deberá de realizarse desde una altura inferior a los dos metros en caso contrario se producirá , inevitablemente la disgregación de la masa, y puede incluso dañar la superficie de los encofrados o desplazar éstos y las piezas de entrevigado, debiéndose adoptar las medidas oportunas para evitarlo.

#### 4.2.2.3.6.4 Hormigonado en tiempo frío

La temperatura de la masa de hormigón en el momento de verterla en el forjado no será inferior a 5°C.

#### 4.2.2.3.6.5 Compactación del hormigón

La compactación del hormigón vertido en obra se realizará mediante procedimientos adecuados a la consistencia de la masa del hormigón, de manera que se eliminen los huecos y se obtenga un perfecto cerrado de la masa, sin que llegue a producirse segregación. El proceso de compactación deberá prolongarse hasta que refluya la pasta a la superficie y deje salir el aire.

Cuando se utilicen vibradores de superficie el espesor de la capa después de compactada no será mayor de 20 centímetros.



#### **4.2.2.3.6 Acabado de superficies**

En los casos que se pretende construir una estructura ligera y sean optimizado los calculos reduciendo o utilizando una carga permanente ligera, se deberá de ser muy cuidadoso con la superficie del forjado ya que esta debe de nivelarse y reglear de tal forma que permita recibir el pavimento con unos espesores mínimos de mortero de nivelación. De esta forma se consigue reducir la carga permanente real del pavimento.

#### **4.2.2.3.7 CURADO**

##### **4.2.2.3.7.1 Método aplicado**

##### **4.2.2.3.7.2 Plazos de curado**

Durante el fraguado y primer período de endurecimiento del hormigón deberá de realizarse un adecuado curado para procurar el mantenimiento de la humedad. Este curado se prolongará durante el plazo necesario en función del tipo y clase del cemento, de la temperatura y grado de humedad del ambiente, etc...

Se debe comprobar que el curado se realice correctamente, manteniendo húmedas las superficies de hormigón mediante riego directo que no produzca deslavado. El agua empleada en estas operaciones deberá poseer las cualidades exigidas en el Artículo 27 de la Instrucción EHE.

##### **4.2.2.3.7.3 Protección de superficies**

El curado por aportación de humedad se puede sustituir por la protección de las superficies mediante recubrimientos plásticos u otros tratamientos adecuados. Métodos que deberán ofrecer las garantías necesarias para lograr durante el primer período de endurecimiento, especialmente en el caso de masas secas, la humedad inicial de la masa. Asimismo no deberán contener sustancias nocivas para el hormigón.

Si el curado se realiza empleando técnicas especiales (curado al vapor se procederá con arreglo a las normas de buena práctica).

#### **4.2.2.3.8 DESMOLDEADO Y DESCIMBRADO**

Se retirarán los distintos elementos que constituyen los encofrados (el encofrado "costeros, fondos, etc." , los apeos, las sopandas y las cimbras,) sin producir sacudidas ni choques en la estructura. Se recomienda, cuando los elementos sean de cierta importancia, el empleo de cuñas, cajas de arena, gatos u otros dispositivos análogos para lograr un descenso uniforme de los apoyos.

Las operaciones anteriores no se realizarán hasta que el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria para soportar, con suficiente seguridad y sin deformaciones excesivas, los esfuerzos a los que va a estar sometido durante y después del desencofrado, desmoldeo o descimbrado.

Cuando se trate de obras de importancia y no se posea experiencia de casos análogos, o cuando los perjuicios que pudieran derivarse de una fisuración prematura fuesen grandes, se realizarán ensayos de información según el Artículo 89 de la Instrucción EHE, para estimar la resistencia real del hormigón y poder fijar convenientemente el momento de desencofrado, desmoldeo o descimbrado.

Se tendrán también en cuenta las condiciones ambientales (por ejemplo, heladas) y la necesidad de adoptar medidas de protección una vez que el encofrado, o los moldes, hayan sido retirados.

Se pondrá especial atención en retirar oportunamente todo elemento de encofrado o molde que pueda impedir el libre juego de las juntas de retracción, asiento o dilatación, así como de las articulaciones, si las hay.

En elementos de hormigón pretensado es fundamental que el descimbrado se efectúe de conformidad con lo dispuesto en el programa previsto a tal efecto al redactar el proyecto de la estructura. Dicho programa deberá estar de acuerdo con el correspondiente al proceso de tesado.

**Para facilitar el desencofrado de las superficies de hormigón y, en particular, cuando se empleen moldes, se recomienda pintarlos con barnices antiadherentes que cumplan las condiciones prescritas en el Artículo 65. de la EHE. Esto no es necesario cuando se ejecutan forjados con rotura de puente térmico realizados con poliestireno expandido.**

Los períodos mínimos de desencofrado y descimbrado de elementos de hormigón armado serán los siguientes:

Temperatura superficial del hormigón (°C)	≥ 24°	16°	8°	2°
Encofrado vertical	9 horas	9 horas	9 horas	9 horas
Losas				
Fondo de encofrado	2 días	3 días	5 días	8 días
Puntales	7 días	9 días	13 días	20 días
Vigas				
Fondo de encofrado	7 días	9 días	13 días	20 días
Puntales	10 días	13 días	18 días	28 días

#### 4.2.2.3.9 TABIQUES DIVISORIOS

Se deberán de adoptar las soluciones constructivas que sean necesarias, en la ejecución de elementos divisorios constituidos por tabiques rígidos para minimizar el riesgo de aparición de daños en los tabiques ante el apoyo del forjado y la transmisión de cargas de los pisos superiores a través de los tabiques.

#### 4.2.2.3.10 REVESTIMIENTO DEL TECHO

El enlucido de yeso en la cara inferior de las bovedillas debe efectuarse con yesos amasados sin exceso de agua (relación agua/yeso del orden de 0,6 a 0,7) y con un espesor mínimo de 15 mm.

Es muy importante tener en cuenta que el poliestireno expandido (EPS) **NO ABSORBE AGUA**. Por ello a la hora de aplicar yeso tanto normal como proyectado debe considerarse este aspecto y combinarlo con los distintos tipos de fraguado de los yesos así como la superficie ejecutada.

En cualquier caso, es determinante el espesor de yeso para evitar la aparición de fisuras. (Se recomienda 15 mm.)

#### 4.2.2.3.11 FIJACIÓN DE CARGAS EN LOS FORJADOS

Las cargas más habituales (de entre 8 y 15 kg.) pueden suspenderse de las bovedillas mediante el uso de fijaciones adecuadas (ensayo MICTY 301092 y CID PSA 140998).

Las cargas más pesadas deberán de estar previstas en el proyecto. En caso contrario requerirán de un estudio específico de la Dirección Facultativa evitando el colgar estas cargas de las viguetas cuando estas puedan afectar a la durabilidad de la misma.

El empleo de revestimientos a base de **placas de yeso laminado** elimina la problemática antes expuesta.

#### **Comentario:**

*Los elementos de fuerte disipación térmica (ojos de buey para alumbrado halógeno o similares) no deben de alojarse en el interior de forjados con piezas aligerantes de EPS.*

*Este tipo de alumbrado se utiliza habitualmente en dependencias con falsos techos donde su ubicación no entraña ningún tipo de incompatibilidad con los forjados de poliestireno expandido (EPS).*

#### 4.2.2.4 DOCUMENTACIÓN DE LOS CONTROLES EFECTUADOS

Toda las especificaciones técnicas, certificados, sellos de calidad, autorizaciones de uso, Documentos de Idoneidad Técnica, planos de montaje, garantías de fabricante, resultados de ensayos, resultados de pruebas realizadas, estudios técnicos y órdenes específicas dadas por la Dirección Facultativa deberán quedar registradas y documentadas como medio de prueba de la calidad final conseguida.



#### 4.2.2.5 PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

##### 4.2.2.5.1 MANIPULACIÓN MANUAL DE CARGAS

Todos los elementos que formarán parte del edificio deben de ser transportados y manipulados de forma manual o mecánica.

La manipulación manual de cargas es la responsable de la aparición de fatigas o bien lesiones, que se producen de una forma inmediata o por acumulación de pequeños traumatismos aparentemente sin importancia.

Las lesiones más frecuentes son contusiones, cortes, heridas, fracturas y sobre todo lesiones músculo-esqueléticas. Estas lesiones se pueden producir en cualquier zona del cuerpo pero son mas sensibles los miembros superiores (manos, hombros, brazos) y la espalda, en especial la zona dorsolumbar. Las lesiones dorsolumbares pueden ir desde un lumbago a alteraciones de los discos intervertebrales (hernias discales) o incluso fracturas vertebrales por sobreesfuerzo.

Entre las lesiones mas frecuentes en los miembros superiores se encuentran

- Heridas o arañazos producidos por esquinas demasiado afiladas, astillamientos en la carga, superficies demasiado rugosas, cortantes, afiladas, etc..
- Contusiones por caídas de la carga debido a superficies resbaladizas, etc...

La Organización Internacional del Trabajo afirma que la manipulación manual es una de las causas más frecuentes de accidentes laborales, con un 20%-25% del total de los producidos.

Un estudio realizado el año 1990, por el National Safety Council de los EEUU, pone de manifiesto que la mayor causa de lesiones laborales fueron debidas por sobreesfuerzos (31%). La espalda es la parte del cuerpo más expuesta a lesiones (22% de 1,7 millones de lesiones).

Otros informes ponen de relieve los mismos datos:

- Reino Unido (año 1991) la manipulación de cargas causa el 34% de accidentes laborales.
- En Francia (año 1992) la manipulación de cargas causa el 31% de accidentes de trabajo con baja.
- En España la mayor causa de accidentes de trabajo en el período 1994-95 fue debida a los sobreesfuerzos. El año 1996 un 22% de trabajo causados por sobreesfuerzo.

Sensibles a esta problemática, la Unión Europea adoptó en 1990 la directiva 90/269/CEE, que se transpone al derecho español por medio del R.D. 487/1997, de 14 de abril *sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañen riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.*

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 5 del Real decreto 39/1997 de 17 de enero, tiene entre sus cometidos la elaboración de guías destinadas a la evaluación y prevención de los riesgos laborales. Con esta finalidad ha elaborado la *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación de cargas.*

En la mencionada guía se establece que la manipulación manual de toda carga que pese mas de **3 kg**, puede entrañar un potencial de riesgo dorsolumbar no tolerable, ya que a pesar de ser una carga bastante ligera, si se manipula en unas condiciones ergonómicas desfavorable (alejada del cuerpo, con posturas inadecuadas, muy frecuentemente, en condiciones ambientales desfavorables, con suelos inestables, etc. ) podría generar una lesión.

Así pues, a efectos de la mencionada guía, se deberá de realizar una evaluación de los riesgos debidos a las cargas que pesen más de **3 kg** y se establece que las cargas que pesen mas de 25 kg constituirán un riesgo en sí mismas, aunque no existan otras condiciones ergonómicas desfavorables.

#### **Comentario:**

*El artículo 3 del Real decreto 487/1997 de 14 de abril sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañen riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores, recoge lo siguiente:*

- 1. El empresario deberá adoptar las medidas técnicas u organizativas necesarias para evitar la manipulación manual de cargas, en especial mediante la utilización de equipos para el manejo mecánico de las mismas, sea automática o controlada por el trabajador.*

2. Cuando no pueda evitarse la necesidad de manipulación manual de las cargas, el empresario tomará las medidas de organización adecuadas, utilizará los medios apropiados o proporcionará a los trabajadores tales medios para reducir el riesgo que entrañe dicha manipulación. A tal fin, deberá evaluar los riesgos tomando en consideración los factores indicados en el Anexo del presente Real Decreto y sus posibles efectos combinados.

Para evaluar el procedimiento de manipulación de cargas, el empresario deberá de invertir dinero y en:

- Automatizar y mecanizar los procesos.
- Paletizar.
- Utilizar medios mecánicos importantes: Grúas, carretillas elevadoras, montacargas, etc...
- Utilizar medios semi-mecánicos: carretillas, carros, mesas elevadoras, estanterías rodantes, etc..

Para evaluar los procedimientos la Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación de cargas, establece un método que se basa en:

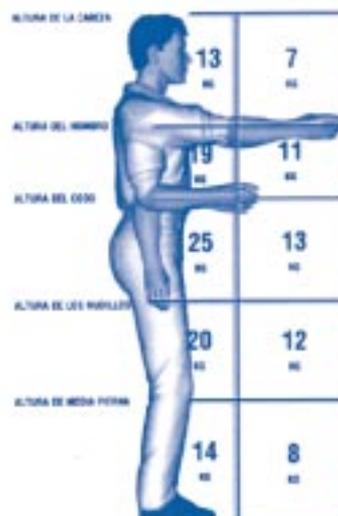
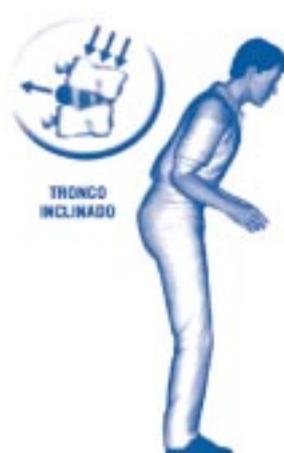
- Aplicación del diagrama de decisiones.
- Recogida de datos.
- Cálculo del peso aceptable.
- Evaluación.
- Medidas correctoras.

De forma general el peso máximo que se recomienda no sobrepasar en condiciones ideales de manipulación es de **25 kg**. No obstante, si la población expuesta son mujeres o trabajadores jóvenes o mayores, o si se quiere proteger a la mayoría de la población, no se aconseja manejar cargas superiores a **15kg**.

Estos pesos son corregidos mediante un coeficiente en función de diversas condiciones de aplicación.

Cuando se deban de sobrepasar estos valores de peso, se deben de tomar medidas preventivas de forma que el trabajador no manipule las cargas, o que consiga que el peso manipulado sea menor. Entre estas medidas se pueden tomar las siguientes:

- Uso de ayudas mecánicas.
- Levantamiento de la cargas entre dos personas.
- Reducción de los pesos de las cargas manipuladas en posible combinación con la reducción de la frecuencia, etc...



### **Comentario:**

Desde un punto de vista preventivo, conforme ordena el Real Decreto 487/1997 de 14 de abril y la Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación de cargas, el empresario deberá de evitar la manipulación de cargas con un peso superior a **3 kg**. Cuando esto no sea posible el empresario deberá de invertir dinero y para que esta manipulación de manual de cargas no produzca lesiones dorsolumbares.

Evidentemente el uso de bovedillas y casetones ligeros y especialmente los de EPS evitan al empresario el tener que invertir cualquier tipo de recursos por los conceptos anteriormente reseñados.

En ningún caso estas piezas de aligeramiento llegan a pesar más de 1 kg., por lo que no le es aplicable este Real Decreto y la mencionada Guía. (Ver tablas de pesos propios en apartado 3.2.1.1.2)

**La rentabilidad** del empresario al utilizar piezas de aligeramiento de EPS esta ligada a cuatro parámetros básicos.

Por un lado un **aumento de los rendimientos** de colocación, ya que al ser un elemento menos pesado que sus competidores se logra colocar más metros cuadrados en menos tiempo.

Por otro lado se **reduce la inversión en medios auxiliares** para el transporte y manipulación de los mismos.

El transporte de materiales ligeros es más económico y además genera una ventaja medio ambiental ya que permite un menor consumo energético y de desgaste de maquinaria (ruedas y carburante del camión, electricidad de la grúa, etc...)

Y en definitiva y mucho más importante, al utilizar piezas de EPS **se reducen las bajas laborales** por que:

- No se manifiestan dolores dorsolumbares ya que se trata de cargas muy livianas.
- No se producen en su manipulación heridas o arañazos producidos por esquinas demasiado afiladas, astillamientos en la carga, superficies demasiado rugosas, cortantes, afiladas, etc..
- No se producen contusiones por caídas de la carga debido a la suavidad de la superficie del material, etc...
- Durante la fabricación y la instalación del EPS, no se requiere ninguna protección particular, ya que los productos no son irritantes ni tóxicos (no se requiere mascarilla ni guantes). No existe ningún caso de enfermedad ligado al EPS.



## 4.3 OTRAS MISIONES DE LOS FORJADOS

### 4.3.1 AISLAMIENTO TÉRMICO

Todas las piezas de aligeramiento de EPS tienen una característica adicional con respecto al resto de piezas que se utilizan para el entrevigado de forjados. Las piezas de EPS proporcionan al forjado una alta Resistencia Térmica y con ello contribuyen junto con el resto de Aislamiento Térmico al Ahorro Energético del Edificio. El CONFORT y AHORRO DE ENERGÍA son los objetivos del aislamiento térmico en cualquiera de sus formas.

Este efecto se pone de manifiesto en todos los sistemas de forjados con piezas de aligeramiento de EPS y tiene su máximo beneficio en los diversos sistemas con rotura del puente térmico, tanto en forjados unidireccionales como reticulares. Este aspecto es especialmente importante en forjados que limitan con espacios exteriores (cubiertas, porches, forjados sanitarios, etc.) o locales no calefactados (trasteros, desvanes, etc.) o bien que separan diferentes usuarios con régimen independiente de climatización.

La Resistencia Térmica aportada por los **productos moldeados**, depende del diseño interior de la pieza. La norma EN-ISO-6946 establece los criterios para el cálculo de la resistencia térmica de elementos que no son planoparalelos o macizos.

En el caso de **productos mecanizados**, el aislamiento térmico puede estimarse por descomposición en elementos de acuerdo con las directrices de la norma EN-ISO-6946, cuando se trata de elementos que no son plano paralelos en todas sus capas.

No debe confundirse la resistencia térmica de la bovedilla con la resistencia térmica del forjado, donde deben incluirse el efecto de las viguetas y las capas de revestimiento (suelos y techos). También ha de distinguirse esos conceptos del Coeficiente de Transmisión Térmica del forjado (donde se incluye el efecto de las resistencias térmicas superficiales). Todos estos conceptos están recogidos en la norma UNE-EN-6946.

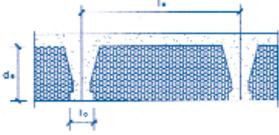
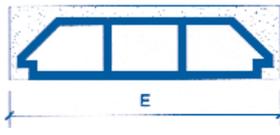
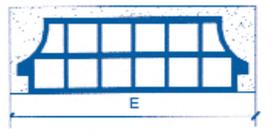
Ejemplo:

Madrid.

Forjado en contacto con local no calefactado.

Resistencia Térmica Superficial ( $= 1/h_e + 1/h_i$ ): 0,22 m<sup>2</sup>·K/W

Forjado Unidireccional: Intereje 70 cm y canto 20 cm.

BOVEDILLA	EPS	HORMIGÓN	CERÁMICA
			
Resistencia Térmica FORJADO	<b>0,77</b>	<b>0,18</b>	<b>0,31</b>
Resistencia Térmica ENLUCIDO (15 mm yeso)	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>
Resistencia Térmica PAVIMENTO (terrazo + 6 cm nivelación)	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>
Resistencia Térmica Superficial	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>
Resistencia Térmica Total (R)	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,63</b>
Coeficiente de Transmisión Térmica (1/R)	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1,58</b>

Para una mejor comprensión de este aspecto recogemos a continuación un extracto de las REGLAS TH-U publicadas por el Laboratorio francés CSTB, se trata de las Tablas de Resistencias Térmicas de forjados unidireccionales con diferentes piezas de aligeramiento. En los casos correspondientes se recogen las tablas de la NBE-CT-79.



El Compromiso de las diferentes Administraciones con el Desarrollo Sostenible a través del Ahorro Energético (reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>) pone de manifiesto la necesidad de aislar térmicamente toda la envolvente de la vivienda.

El empleo cada vez más extendido de sistemas de Calefacción Individual y Aire acondicionado implica un mayor compromiso de promotores, constructores y proyectistas con la reducción de los costes directos energéticos a soportar por los usuarios y el aumento del rendimiento de los aparatos.

#### 4.3.1.1 TABLAS DE RESISTENCIA TÉRMICA DE FORJADOS

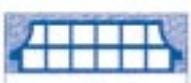
##### 1. FORJADOS CON BOVEDILLA CERÁMICA

Espesor de tabiques de 8 a 10 mm

Densidad de la cerámica de 1800 a 1900 kg/m<sup>3</sup>

Para densidades fuera de los límites antes citados es necesario un cálculo particular

TABLA 1

Forjado con BOVEDILLA CERÁMICA, sin capa de compresión o con capa de compresión de hormigón con árido pesado (1800-1900 kg/m <sup>3</sup> )						
Sección del forjado entre viguetas	Distancia entre ejes de vigueta E	Altura de la bovedilla en cm				
		8	12	16	20	25
	50 ≤ E ≤ 60	0.16	0.19			
	60 < E ≤ 70	0.17	0.20			
	50 ≤ E ≤ 60		0.22	0.26	0.29	0.33
	60 < E ≤ 70		0.24	0.28	0.31	0.35
	50 ≤ E ≤ 60			0.28	0.31	0.35
	60 < E ≤ 70			0.30	0.33	0.37
Resistencia térmica del forjado en m <sup>2</sup> -K/W						

##### NOTAS

E = Distancia entre ejes de viguetas

TABLA 2

FUENTE: NBE CT-79 (página 41) Tabla 2.11						
Forjado con BOVEDILLA CERÁMICA, con hormigón de relleno de senos y capa de compresión con áridos normales.						
Sección del forjado entre viguetas	Distancia entre ejes de vigueta E	Altura de la bovedilla en cm				
		8	12	16	20	25
	< 45	0.08	0.11			
	45 a 65	0.11	0.14			
	> 65	0.12	0.16			
	< 45		0.13	0.17	0.21	0.25
	45 a 65		0.19	0.23	0.26	0.31
	> 65		0.23	0.27	0.30	0.34
Resistencia térmica del forjado en m <sup>2</sup> -K/W						

##### NOTAS

E = Distancia entre ejes de viguetas

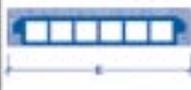
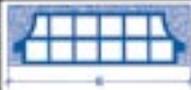
**2. FORJADOS CON BOVEDILLA CERÁMICA Y CAPA DE COMPRESIÓN DE HORMIGÓN ALIGERADO CON ARCILLA EXPANDIDA**

Densidad de la arcilla expandida comprendida entre 1400 y 1800 kg/m<sup>3</sup>.

Espesor de la capa de compresión > 4 cm.

La resistencia térmica de estos forjados es idéntica a la de los forjados con capa de compresión con hormigón de árido pesado pero mayorada en 3m<sup>2</sup> · K/W.

**TABLA 3**

<b>Forjado con BOVEDILLA CERÁMICA, con capa de compresión de arcilla expandida (<math>\geq 4</math> cm) (1400-1800 kg/m<sup>3</sup>)</b>						
Sección del forjado entre viguetas	Distancia entre ejes de vigueta E	Altura de la bovedilla en cm				
		8	12	16	20	25
	50 ≤ E ≤ 60	0.19	0.22			
	60 < E ≤ 70	0.20	0.23			
	50 ≤ E ≤ 60		0.25	0.29	0.32	0.36
	60 < E ≤ 70		0.27	0.31	0.34	0.38
	50 ≤ E ≤ 60			0.31	0.34	0.38
	60 < E ≤ 70			0.33	0.36	0.40
<b>Resistencia térmica del forjado en m<sup>2</sup>·K/W</b>						

**NOTAS**

E = Distancia entre ejes de viguetas



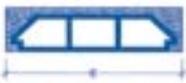
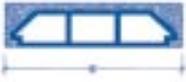
**3. FORJADOS DE MORTERO CON ÁRIDO PESADO**

Espesor de los tabiques (salvo la pared superior) de 15 a 25 mm.

La densidad del hormigón está entre 1800 y 2200 kg/m<sup>3</sup>.

La forma de las bovedillas es trapezoidal o rectangular.

**TABLA 4**

Forjado con BOVEDILLA DE MORTERO (1800 - 2200 kg/m <sup>3</sup> )							
Sección del forjado entre viguetas	Distancia entre ejes de vigueta E	Altura de la bovedilla en cm					
		8	12	16	20	25	30
<b>Forjados sin capa de compresión o con capa de compresión de hormigón con áridos pesados</b>							
	50 < E ≤ 60	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20	0.22
	60 < E ≤ 70	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21	0.23
	50 < E ≤ 60				0.22	0.26	0.30
	60 < E ≤ 70				0.25	0.27	0.31
<b>Forjados con capa de compresión de hormigón con arcilla expandida de 5 cm (1400 - 1800 kg/m<sup>3</sup>)</b>							
	50 < E ≤ 60	0.19	0.21	0.23	0.27	0.28	0.30
	60 < E ≤ 70	0.20	0.22	0.24	0.26	0.29	0.31
	50 < E ≤ 60				0.31	0.35	0.38
	60 < E ≤ 70				0.32	0.36	0.40
Resistencia termica del forjado en m <sup>2</sup> -K/W							

**NOTAS**

E = Distancia entre ejes de viguetas

Bovedillas de forma trapezoidal o rectangular

**TABLA 5**

FUENTE: NBE CT 79 (Página 42) Tabla 2.11							
Forjado con BOVEDILLA DE MORTERO							
Sección del forjado entre viguetas	Distancia entre ejes de vigueta E	Altura de la bovedilla en cm					
		8	12	16	20	25	30
	< 65		0.11	0.13	0.15	0.18	
	> 65		0.12	0.14	0.16	0.19	
	< 65				0.22	0.25	
	> 65				0.23	0.27	
Resistencia termica del forjado en m <sup>2</sup> -K/W							

#### 4. BOVEDILLAS DE MORTERO ALIGERADAS CON ARCILLA EXPANDIDA

Espesor de los tabiques de 15 a 30 mm.

Densidad del hormigón está entre 900 y 1200 kg/m<sup>3</sup>.

La forma de las bovedillas es trapezoidal o rectangular.

TABLA 6

Forjados de BOVEDILLA DE MORTERO aligerada con arcilla expandida (900-1200 kg/m <sup>3</sup> )							
Sección del forjado entre viguetas	Distancia entre ejes de vigueta E	Altura de la bovedilla en cm					
		8	12	16	20	25	30
<b>Forjados sin capa de compresión o con capa de compresión de hormigón con áridos pesados</b>							
	50 < E ≤ 60	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31
	60 < E ≤ 70	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32
	50 < E ≤ 60				0.34	0.37	0.40
	60 < E ≤ 70				0.35	0.38	0.41
<b>Forjados con capa de compresión de hormigón con arcilla expandida de 5 cm (1400 - 1800 kg/m<sup>3</sup>)</b>							
	50 < E ≤ 60	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39
	60 < E ≤ 70	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40
	50 < E ≤ 60				0.43	0.45	0.49
	60 < E ≤ 70				0.45	0.48	0.51
Resistencia termica del forjado en m <sup>2</sup> -K/W							

**NOTAS**

E = Distancia entre ejes de viguetas

Bovedillas de forma trapezoidal o rectangular



## 5. FORJADOS CON BOVEDILLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

La resistencia térmica a tener en cuenta para los forjados con bovedillas de poliestireno expandido (EPS), se obtiene a partir del cálculo según la norma EN-ISO-6946.

Los valores de las resistencias térmicas contenidos en las tablas corresponden únicamente a forjados que verifican las características y especificaciones que se consideran a continuación:

Figura 1: Bovedilla descolgada

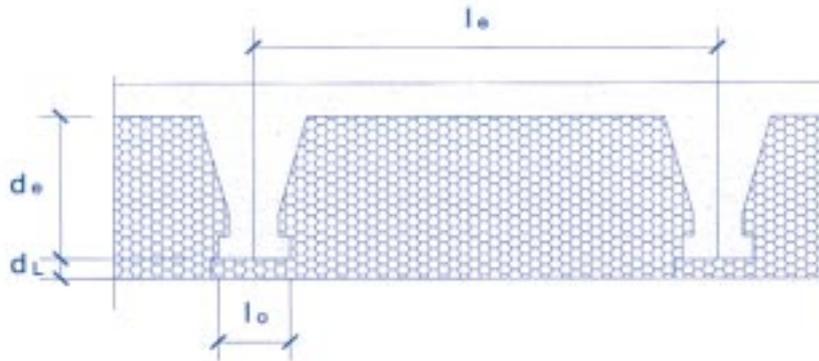
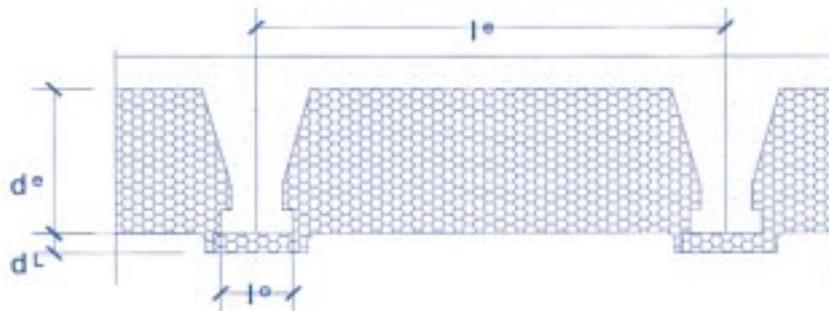


Figura 2: Bovedilla descolgada para falso techo



Los montajes antes mostrados deben verificar las condiciones siguientes:

Para una altura del talón de la vigueta  $d_L = 35 \text{ mm}$ , el ancho  $l_0$  del talón verificará la condición:  $95 < l_0 < 125$ .

Para una altura del talón de la vigueta  $d_L = 45 \text{ mm}$ , el ancho  $l_0$  del talón verificará la condición:  $125 < l_0 < 140$ .

• **Bovedillas mecanizadas:**

Figura 1: Perfil TIPO A, la conductividad térmica útil del EPS debe ser inferior o igual a 43 mW/m-K.

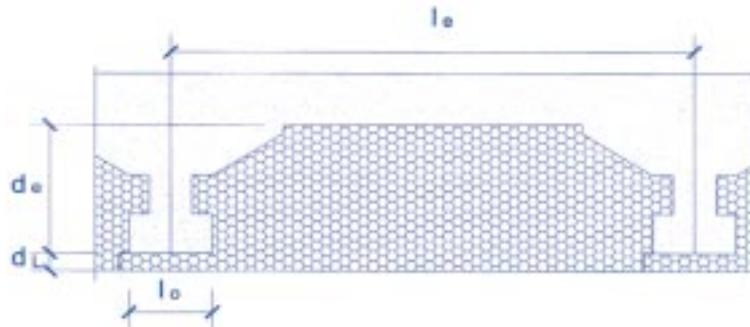
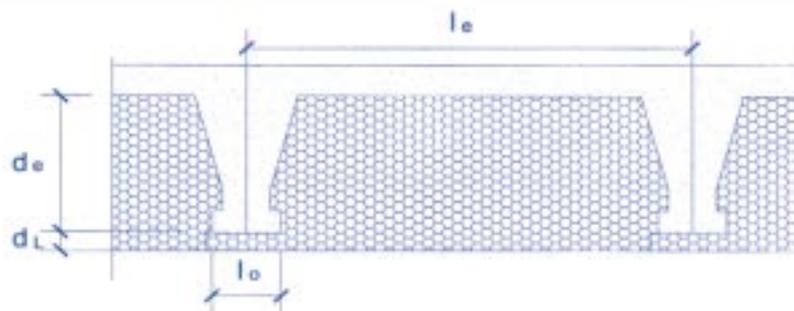


Figura 2: Perfil TIPO B, la conductividad térmica útil del EPS debe ser inferior o igual a 45 mW/m-K.



Para valores superiores de juego vertical y de unión de la lengüeta, se restará a los valores de resistencia térmica de las tablas:  
 0,15 m<sup>2</sup>-K/W para 5<s<10 mm.  
 0,45 m<sup>2</sup>-K/W para 10<s<30 mm.

La resistencia térmica de los sistemas de forjado se expresa en función de:

El tipo de bovedilla

Mecanizada

Moldeada

El perfil de las viguetas

Perfil TIPO A con las dimensiones que presenta la figura 3.

Perfil TIPO B con los mismos valores de resistencia térmica para  $\theta$  entre 0° y 45°. (figura 4)

$l_e$  = distancia entre ejes de viguetas

$d_e$  = canto / altura de la bovedilla

$l_o$  = anchura del talón de la vigueta

$d_l$  = espesor de la lengüeta

Para todos los tipos de bovedillas, los valores de resistencia térmica para alturas de bovedillas intermedias y/o espesores de lengüeta intermedios pueden ser obtenidos con suficiente exactitud por interpolación lineal.



**TABLA 7**

**Forjados con BOVEDILLA DE EPS mecanizada (TIPO A) enrasada con capa de compresión de hormigón de 5 cm**

Altura de la bovedilla (mm) $d_e$	Anchura del talón de la vigueta (mm)	Distancia entre ejes de viguetas (mm)		
		$550 \leq l_e < 600$	$600 \leq l_e < 630$	$l_e \geq 630$
120	$95 \leq l_o \leq 125$	0,48	0,52	0,55
	$125 < l_o \leq 140$	0,43	0,47	0,50
150	$95 \leq l_o \leq 125$	0,51	0,55	0,58
	$125 < l_o \leq 140$	0,45	0,50	0,52
170	$95 \leq l_o \leq 125$	0,52	0,57	0,60
	$125 < l_o \leq 140$	0,47	0,51	0,54
$\geq 200$	$95 \leq l_o \leq 125$	0,55	0,61	0,64
	$125 < l_o \leq 140$	0,49	0,54	0,57

Resistencia térmica del forjado en  $m^2 \cdot K/W$

**NOTAS**

$l_e$  = distancia entre ejes de viguetas

$d_e$  = canto de la bovedilla

$l_o$  = anchura del talón de la vigueta

**TABLA 8**

**Forjados con BOVEDILLA DE EPS mecanizada (TIPO B) enrasada con capa de compresión de hormigón de 5 cm**

Altura de la bovedilla (mm) $d_e$	Anchura del talón de la vigueta (mm)	Distancia entre ejes de viguetas (mm)		
		$550 \leq l_e < 600$	$600 \leq l_e < 630$	$l_e \geq 630$
120	$95 \leq l_o \leq 125$	0,54	0,58	0,61
	$125 < l_o \leq 140$	0,47	0,51	0,54
150	$95 \leq l_o \leq 125$	0,60	0,65	0,68
	$125 < l_o \leq 140$	0,52	0,57	0,60
170	$95 \leq l_o \leq 125$	0,63	0,69	0,72
	$125 < l_o \leq 140$	0,55	0,60	0,64
$\geq 200$	$95 \leq l_o \leq 125$	0,68	0,74	0,77
	$125 < l_o \leq 140$	0,59	0,65	0,68

Resistencia térmica del forjado en  $m^2 \cdot K/W$

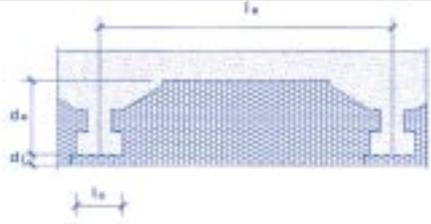
**NOTAS**

$l_e$  = distancia entre ejes de viguetas

$d_e$  = canto de la bovedilla

$l_o$  = anchura del talón de la vigueta

**TABLA 9**



**Forjado con BOVEDILLA DE EPS mecanizada (TIPO A) descolgada con capa de compresión de hormigón de 5 cm**

Espesor de la lengüeta (mm)	Altura de la bovedilla (mm) $d_e$	Ancho del talón de la vigueta (mm)	Distancia entre ejes de viguetas (mm)		
			$550 \leq l_e < 600$	$600 \leq l_e < 630$	$l_e \geq 630$
30	120	$95 \leq l_o \leq 125$	1,84	1,91	1,96
		$125 < l_o \leq 140$	1,75	1,83	1,87
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	1,91	2,00	2,05
		$125 < l_o \leq 140$	1,81	1,91	1,96
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,94	2,05	2,10
		$125 < l_o \leq 140$	1,85	1,95	2,00
	$\geq 200$	$95 \leq l_o \leq 125$	1,99	2,10	2,16
		$125 < l_o \leq 140$	1,85	2,00	2,06
40	120	$95 \leq l_o \leq 125$	2,09	2,18	2,22
		$125 < l_o \leq 140$	2,01	2,09	2,14
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	2,17	2,27	2,33
		$125 < l_o \leq 140$	2,08	2,18	2,24
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,21	2,32	2,38
		$125 < l_o \leq 140$	2,11	2,22	2,28
	$\geq 200$	$95 \leq l_o \leq 125$	2,30	2,38	2,44
		$125 < l_o \leq 140$	2,16	2,27	2,34
50	120	$95 \leq l_o \leq 125$	2,35	2,43	2,48
		$125 < l_o \leq 140$	2,27	2,35	2,40
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	2,43	2,54	2,60
		$125 < l_o \leq 140$	2,34	2,45	2,51
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,47	2,59	2,65
		$125 < l_o \leq 140$	2,38	2,49	2,55
	$\geq 200$	$95 \leq l_o \leq 125$	2,68	2,65	2,72
		$125 < l_o \leq 140$	2,42	2,55	2,62
60	120	$95 \leq l_o \leq 125$	2,58	2,68	2,72
		$125 < l_o \leq 140$	2,51	2,59	2,65
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	2,67	2,78	2,84
		$125 < l_o \leq 140$	2,58	2,69	2,90
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,72	2,83	2,90
		$125 < l_o \leq 140$	2,62	2,74	2,80
	$\geq 200$	$95 \leq l_o \leq 125$	2,76	2,90	2,97
		$125 < l_o \leq 140$	2,66	2,80	2,87

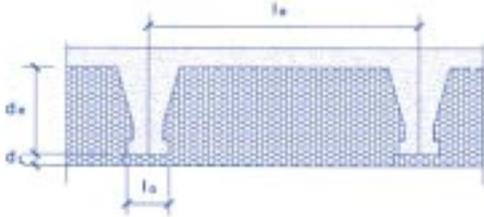
Resistencia térmica del forjado en  $m^2 \text{ KW}$

**NOTAS**

- $l_e$  = distancia entre ejes de viguetas
- $d_e$  = canto de la bovedilla
- $l_o$  = anchura del talón de la vigueta
- $d_L$  = espesor de la lengüeta



**TABLA 10**



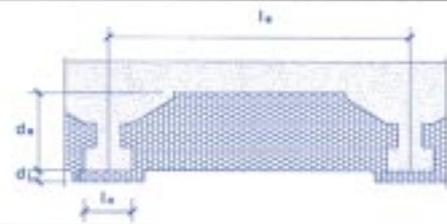
**Forjado con BOVEDILLA de EPS mecanizada (TIPO B) descolgada con capa de compresión de hormigón de 5 cm**

Espesor de la lengüeta (mm)	Altura de la bovedilla (mm) $d_e$	Ancho del talón de la vigueta (mm)	Distancia entre ejes de viguetas (mm)		
			$550 \leq l_e < 600$	$600 \leq l_e < 630$	$l_e \geq 630$
30	120	$95 \leq l_o \leq 125$	1,82	1,90	1,94
		$125 < l_o \leq 140$	1,72	1,80	1,84
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	1,94	2,03	2,08
		$125 < l_o \leq 140$	1,82	1,89	1,93
	$\geq 200$	$95 \leq l_o \leq 125$	2,00	2,11	2,16
$\geq 200$	$125 < l_o \leq 140$	1,88	1,98	2,04	
40	120	$95 \leq l_o \leq 125$	2,07	2,15	2,19
		$125 < l_o \leq 140$	1,97	2,05	2,09
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	2,20	2,29	2,34
		$125 < l_o \leq 140$	2,08	2,17	2,21
	$\geq 200$	$95 \leq l_o \leq 125$	2,28	2,37	2,43
$\geq 200$	$125 < l_o \leq 140$	2,14	2,24	2,30	
50	120	$95 \leq l_o \leq 125$	2,32	2,40	2,44
		$125 < l_o \leq 140$	2,22	2,30	2,35
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	2,45	2,55	2,60
		$125 < l_o \leq 140$	2,33	2,43	2,49
	$\geq 200$	$95 \leq l_o \leq 125$	2,51	2,62	2,69
$\geq 200$	$125 < l_o \leq 140$	2,39	2,50	2,57	
60	120	$95 \leq l_o \leq 125$	2,55	2,63	2,67
		$125 < l_o \leq 140$	2,45	2,53	2,58
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	2,69	2,78	2,83
		$125 < l_o \leq 140$	2,57	2,67	2,73
	$\geq 200$	$95 \leq l_o \leq 125$	2,75	2,86	2,92
$\geq 200$	$125 < l_o \leq 140$	2,63	2,74	2,80	
$\geq 200$	$95 \leq l_o \leq 125$	2,85	2,97	3,04	
$\geq 200$	$125 < l_o \leq 140$	2,71	2,84	2,91	

Resistencia térmica del forjado en  $m^2 \cdot K/W$

NOTAS  
 $l_e$  = distancia entre ejes de viguetas  
 $d_e$  = canto de la bovedilla  
 $l_o$  = anchura del talón de la vigueta  
 $d_L$  = espesor de la lengüeta

TABLA 11



**Forjado con BOVEDILLA DE EPS mecanizada (TIPO A) descolgada para falso techo con capa de compresión de hormigón de 5 cm**

Espesor de la lengüeta (mm)	Altura de la bovedilla (mm) $d_e$	Ancho del talón de la vigüeta (mm)	Distancia entre ejes de viguetas (mm)		
			$550 \leq l_e < 600$	$600 \leq l_e < 630$	$l_e \geq 630$
De 30 a 40	120	$95 \leq l_o \leq 125$	1,49	1,55	1,59
		$125 < l_o \leq 140$	1,44	1,51	1,54
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	1,57	1,65	1,69
		$125 < l_o \leq 140$	1,51	1,59	1,64
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,61	1,69	1,74
		$125 < l_o \leq 140$	1,55	1,63	1,69
	200 ó +	$95 \leq l_o \leq 125$	1,65	1,75	1,81
		$125 < l_o \leq 140$	1,59	1,68	1,74
De 45 a 60	120	$95 \leq l_o \leq 125$	1,60	1,66	1,70
		$125 < l_o \leq 140$	1,57	1,63	1,67
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	1,69	1,77	1,81
		$125 < l_o \leq 140$	1,65	1,73	1,77
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,73	1,82	1,87
		$125 < l_o \leq 140$	1,69	1,78	1,83
	200 ó +	$95 \leq l_o \leq 125$	1,78	1,88	1,93
		$125 < l_o \leq 140$	1,73	1,83	1,89
Resistencia térmica del forjado en $m^2 \cdot K/W$					

NOTAS

$l_e$  = distancia entre ejes de viguetas

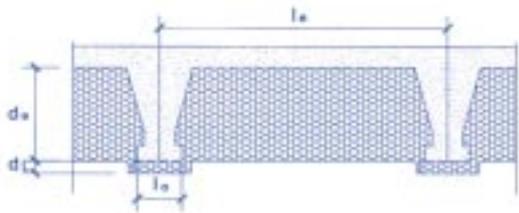
$d_e$  = canto de la bovedilla

$l_o$  = anchura del talón de la vigüeta

$d_L$  = espesor de la lengüeta



**TABLA 12**



**Forjado con BOVEDILLA DE EPS mecanizada (TIPO B) descolgada para falso techo con capa de compresión de hormigón de 5 cm**

Espesor de la lengüeta (mm)	Altura de la bovedilla (mm) $d_e$	Ancho del talón de la vigueta (mm)	Distancia entre ejes de viguetas (mm)		
			$550 \leq l_e < 600$	$600 \leq l_e < 630$	$l_e \geq 630$
De 30 a 40	120	$95 \leq l_o \leq 125$	1,49	1,55	1,59
		$125 < l_o \leq 140$	1,42	1,48	1,52
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	1,62	1,69	1,73
		$125 < l_o \leq 140$	1,54	1,61	1,65
De 45 a 60	120	$95 \leq l_o \leq 125$	1,96	1,77	1,82
		$125 < l_o \leq 140$	1,59	1,68	1,73
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	1,77	1,86	1,92
		$125 < l_o \leq 140$	1,67	1,76	1,82
De 30 a 40	120	$95 \leq l_o \leq 125$	1,59	1,65	1,69
		$125 < l_o \leq 140$	1,54	1,60	1,64
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	1,73	1,81	1,86
		$125 < l_o \leq 140$	1,67	1,75	1,79
170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,81	1,89	1,94	
	$125 < l_o \leq 140$	1,73	1,82	1,87	
200 ó +	$95 \leq l_o \leq 125$	1,90	1,99	2,05	
	$125 < l_o \leq 140$	1,81	1,91	1,96	

Resistencia térmica del forjado en  $m^2 K/W$

**NOTAS**

$l_e$  = distancia entre ejes de viguetas

$d_e$  = canto de la bovedilla

$l_o$  = anchura del talón de la vigueta

$d_L$  = espesor de la lengüeta

### BOVEDILLAS MOLDEADAS

La resistencia térmica de estos sistemas de forjado se obtiene en las tablas en función del perfil de la vigueta.

Se diferenciará la resistencia térmica de las bovedillas moldeadas con una hilera de alvéolos en la parte central de la bovedilla de aquellas con dos o más hileras de alvéolos.

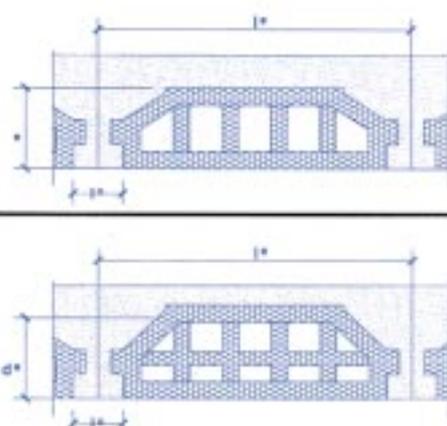
Las formas de los alvéolos de los diseños se dan a título de ejemplo. Los valores de resistencias térmicas de las tablas son válidos cualquiera que sea la forma geométrica de la sección de los alvéolos a demás de respetarse las condiciones siguientes:

Los alvéolos deben estar dispuestos de modo que exista un espesor de 30 mm de EPS en todo el perfil de la bovedilla.

Para las bovedillas que presentan dos o más hileras de alvéolos, la distancia que separa las paredes horizontales debe ser al menos igual a 20 mm.

Para las bovedillas con lengüeta, la superficie de los alvéolos no debe descender por debajo del espesor de la lengüeta.

TABLA 13



**Forjado con BOVEDILLA DE EPS moldeada (TIPO A) enrasada con capa de compresión de hormigón de 5 cm**

Altura de la bovedilla (mm) de	Ancho del talón de la vigueta (mm)	Distancia entre ejes de viguetas (mm)					
		$550 \leq l_e < 600$		$600 \leq l_e < 630$		$l_e \geq 630$	
		1 hilera	$\geq 2$ hileras	1 hilera	$\geq 2$ hileras	1 hilera	$\geq 2$ hileras
De 120 a 170	$95 \leq l_0 \leq 125$ $125 < l_0 \leq$	0,44	0,46	0,48	0,49	0,51	0,50
		0,41	0,43	0,45	0,47	0,47	0,49

*Resistencia térmica del forjado  $m^2 \cdot K/W$*

**NOTAS**

$l_e$  = distancia entre ejes de viguetas

$d_e$  = canto de la bovedilla

$l_0$  = anchura del talón de la vigueta



TABLA 14

**Forjado con BOVEDILLA DE EPS moldeada (TIPO B) enrasada con capa de compresión de hormigón de 5 cm**

Altura de la bovedilla (mm) de	Ancho del talón de la vigueta (mm)	Distancia entre ejes de viguetas (mm)					
		$550 \leq l_e < 600$		$600 \leq l_e < 630$		$l_e \geq 630$	
		1 hilera	$\geq 2$ hileras	1 hilera	$\geq 2$ hileras	1 hilera	$\geq 2$ hileras
De 120 a 170	$85 \leq l_0 \leq 125$	0,50	0,53	0,54	0,58	0,58	0,61
	$125 < l_0 \leq$	0,44	0,16	0,48	0,51	0,50	0,55

**Resistencia térmica del forjado  $m^2 \cdot K/W$**

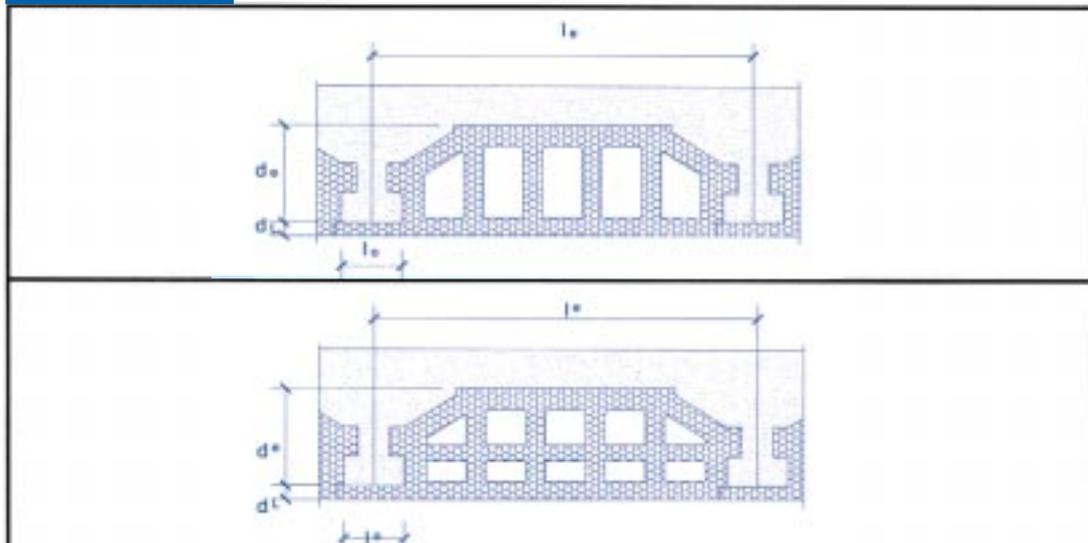
NOTAS

$l_e$  = distancia entre ejes de viguetas

$d_e$  = canto de la bovedilla

$l_0$  = anchura del talón de la vigueta

TABLA 15



**Forjado con BOVEDILLA DE EPS moldeada (TIPO A) descolgada con capa de compresión de hormigón de 5 cm**

Espesor de la lengüeta (mm)	Altura de la bovedilla (mm) de	Ancho del talón de la vigueta (mm)	Distancia entre ejes de viguetas (mm)					
			$550 \leq l_e < 600$		$600 \leq l_e < 630$		$l_e \geq 630$	
			1 hilera	$\geq 2$ hileras	1 hilera	$\geq 2$ hileras	1 hilera	$\geq 2$ hileras
30	De 120 a 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,42	1,62	1,45	1,68	1,46	1,71
		$125 < l_o \leq 140$	1,40	1,52	1,42	1,56	1,43	1,59
40	De 120 a 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,68	1,88	1,70	1,94	1,72	1,97
		$125 < l_o \leq 140$	1,65	1,78	1,67	1,82	1,69	1,85
50	De 120 a 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,91	2,14	1,95	2,20	1,97	2,23
		$125 < l_o \leq 140$	1,90	2,03	1,92	2,08	1,94	2,10
60	De 120 a 170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,15	2,38	2,19	2,44	2,21	2,47
		$125 < l_o \leq 140$	2,14	2,27	2,16	2,32	2,18	2,35

**Resistencia térmica del forjado  $m^2 \cdot K/W$**

NOTAS  
 $l_e$  = distancia entre ejes de viguetas  
 $d_e$  = canto de la bovedilla  
 $l_o$  = anchura del talón de la vigueta  
 $d_L$  = espesor de la lengüeta



TABLA 16

**Forjado con BOVEDILLA DE EPS moldeada (TIPO B) descolgada con capa de compresión de hormigón de 5 cm**

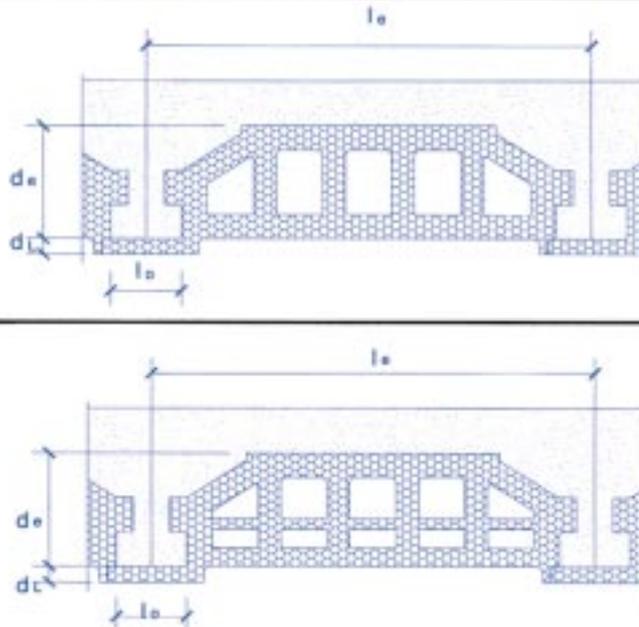
Espesor de la lengüeta (mm)	Altura de la bovedilla (mm) de	Ancho del talón de la vigueta (mm)	Distancia entre ejes de viguetas (mm)					
			$550 \leq l_e < 600$		$600 \leq l_e < 630$		$l_e \geq 630$	
			1 hilera	$\geq 2$ hileras	1 hilera	$\geq 2$ hileras	1 hilera	$\geq 2$ hileras
30	De 120 a 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,45	1,69	1,48	1,74	1,49	1,77
		$125 < l_o \leq 140$	1,41	1,60	1,44	1,65	1,46	1,68
40	De 120 a 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,70	1,95	1,73	2,00	1,74	2,03
		$125 < l_o \leq 140$	1,66	1,86	1,69	1,91	1,71	1,94
50	De 120 a 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,95	2,21	1,97	2,26	1,98	2,29
		$125 < l_o \leq 140$	1,91	2,12	1,94	2,17	1,96	2,20
60	De 120 a 170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,19	2,45	2,22	2,51	2,24	2,54
		$125 < l_o \leq 140$	2,15	2,36	2,19	2,42	2,20	2,45

**Resistencia termica del forjado  $m^2/KW$**

**NOTAS**

- $l_e$  = distancia entre ejes de viguetas
- $d_e$  = canto de la bovedilla
- $l_o$  = anchura del talón de la vigueta
- $d_L$  = espesor de la lengüeta

TABLA 17



**Forjado con BOVEDILLA DE EPS moldeada (TIPO A) descolgada para falso techo con capa de compresión de hormigón de 5 cm**

Espesor de la lengüeta (mm)	Altura de la bovedilla (mm) de	Ancho del talón de la vigueta (mm)	Distancia entre ejes de viguetas (mm)					
			$550 \leq l_e < 600$		$600 \leq l_e < 630$		$l_e \geq 630$	
			1 hilera	$\geq 2$ hileras	1 hilera	$\geq 2$ hileras	1 hilera	$\geq 2$ hileras
De 30 a 40	De 120 a 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,30	1,48	1,34	1,53	1,35	1,57
		$125 < l_o \leq$	1,28	1,39	1,31	1,44	1,33	1,47
De 45 a 60	De 120 a 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,38	1,59	1,41	1,64	1,43	1,67
		$125 < l_o \leq$	1,38	1,50	1,40	1,55	1,42	1,58

Resistencia térmica del forjado  $m^2 \cdot K/W$

NOTAS

$l_e$  = distancia entre ejes de viguetas

$d_e$  = canto de la bovedilla

$l_o$  = anchura del talón de la vigueta

$d_L$  = espesor de la lengüeta

TABLA 18

**Forjado con BOVEDILLA DE EPS moldeada (TIPO B) descolgada para falso techo  
con capa de compresión de hormigón de 5 cm**

Espesor de la lengüeta (mm)	Altura de la bovedilla (mm) de	Ancho del talón de la vigueta (mm)	Distancia entre ejes de viguetas (mm)					
			$550 \leq l_e < 600$		$600 \leq l_e < 630$		$l_e \geq 630$	
			1 hilera	$\geq 2$ hileras	1 hilera	$\geq 2$ hileras	1 hilera	$\geq 2$ hileras
De 30 a 40	De 120 a 170	$96 \leq l_o \leq 125$	1,33	1,54	1,36	1,60	1,38	1,63
		$125 < l_o \leq 140$	1,29	1,47	1,33	1,52	1,35	1,55
De 45 a 60	De 120 a 170	$96 \leq l_o \leq 125$	1,41	1,65	1,44	1,70	1,46	1,73
		$125 < l_o \leq 140$	1,38	1,59	1,42	1,64	1,44	1,67

**Resistencia termica del forjado  $m^2 \cdot K/W$**

NOTAS

$l_e$  = distancia entre ejes de viguetas

$d_e$  = canto de la bovedilla

$l_o$  = anchura del talón de la vigueta

$d_L$  = espesor de la lengüeta

### 4.3.2 AISLAMIENTO ACÚSTICO

En función del uso al que vayan a estar destinados los edificios, estos deberán de cumplir con unas exigencias técnicas para garantizar el confort interior.

Cada vez mas, los usuarios son más exigentes en la mejora del confort acústico, especialmente por lo que hace referencia a las viviendas. Así lo demuestran las cada vez más numerosas demandas en los juzgados por estos temas y las estadísticas de las compañías aseguradoras de los profesionales de la arquitectura.

Este hecho nos tiene que hacer reflexionar profundamente sobre el tema. Para exponer este tema se recoge en parte<sup>27</sup> el estudio realizado por la compañía de seguros a prima fija de arquitectos superiores ASEMAS dedicada al tema (Ficha nº6 "Aislamiento acústico del ruido y de impacto en separaciones horizontales"<sup>28</sup>)

#### 4.3.2.1 INSUFICIENCIA DE AISLAMIENTO ACÚSTICO

Los ruidos pueden provenir del exterior del edificio a través de las fachadas, cómo el producido por el trafico rodado, o de otros espacios del mismo edificio a través de las separaciones verticales y horizontales, cómo el producido por los vecinos u otros usuarios.

La consecución de la comodidad acústica se basa en no sobrepasar un nivel de ruido en el interior, denominado "nivel de ruido de inmición" que es el máximo aceptable para una mayoría de la población y que está fijado por la normativa, en nuestro caso la NBE-CA-88. No obstante, con el paso del tiempo puede ocurrir que la normativa, si no se revisa, deje de ser representativa de los deseos de la población.

Las normativas, o las prescripciones particulares de un proyecto concreto, deben decidir el nivel de ruido de inmición considerado el máximo aceptable y el máximo probable del que procede de fuera del local. De manera inmediata quedan fijados los valores de aislamiento (que no son más que la diferencia entre los dos niveles) que deben proporcionar tanto las separaciones verticales como las horizontales.

Un aislamiento insuficiente de una separación horizontal puede producir dos efectos diferentes según sea el tipo de ruido producido.

El ruido más molesto, en el que aparecen involucradas las separaciones horizontales, es el que se produce, bien por pisadas, bien por golpes dados con los muebles, etc.,y que genéricamente se denomina "ruido de impacto".

La transmisión del ruido de impacto es mucho más intensa en general que la del aéreo, ya que el golpe que se produce sobre el suelo tiene un aporte energético mayor.

La experiencia demuestra que un incremento de la masa del elemento constructivo, dentro de los límites tolerables en la construcción, no soluciona la reducción de esa transmisión y es preciso recurrir a otros medios. En la actualidad son básicamente dos: revestimientos de suelos blandos (textiles o laminares con reverso de caucho, fieltro, etc.) y losas flotantes bajo el pavimento (o sólo en algún caso en pavimentos flotantes por sí mismos).

El primero basa su eficacia en evitar el impacto con su blandura, con lo cual no se les debería llamar aislantes sino "inhibidores".

El segundo método se basa en la utilización de una separación elástica entre el pavimento y el soporte o forjado, semejante al caso de dobles paredes. La vibración generada sobre el pavimento se transmite con poca intensidad al forjado gracias al amortiguamiento que produce el medio elástico y, en consecuencia, el forjado vibra poco y no genera ruido aéreo en la planta inferior.

Ahora bien, una cosa es el aislamiento medido en laboratorio y otra el que realmente se obtiene en el edificio construido, que siempre es menor por dos razones fundamentales. La primera, que nuestros forjados nunca son losas macizas de hormigón, sino losas aligeradas con diversos medios, bovedillas, casetones, etc.; la segunda, las transmisiones indirectas. El procedimiento para medir objetivamente ese aislamiento, siempre menor que el del laboratorio, no puede ser otro que la medición "in situ".

<sup>27</sup> Debido a la profundidad del tema se han recogido las partes más significativas.

<sup>28</sup> Autor del estudio: José Luis González Moreno, Dr. Arquitecto, catedrático de Universidad, departament de Construccions Arquitectòniques, Universitat Politècnica de Catalunya - UPC.



La solución está en la masa superficial, que viene limitada por la capacidad mecánica del forjado, o en el sistema de doble hoja, que puede ser muy ligero y que se consigue con losas flotantes o falsos techos elásticos. Los suelos blandos, por su débil masa y estar ligados directamente al forjado, no suponen el más mínimo incremento de aislamiento del ruido aéreo.

#### 4.3.2.2 RECOMENDACIONES

##### 4.3.2.2.1 PROCEDIMIENTOS BASADOS EN LOS PAVIMENTOS BLANDOS

Los pavimentos blandos sólo tienen influencia en la inhibición del ruido de impacto. El forjado con su masa es el elemento que ha de aportar el aislamiento del ruido aéreo.

En el cuadro adjunto se expone la eficacia genérica medida en laboratorio de diferentes pavimentos producidos por la industria europea. Es necesario que cada fabricante aporte datos concretos de su producto avalados por un laboratorio homologado.

Reducción del ruido de impacto	$\Delta L$ Db(A)
Moqueta gruesa sobre fieltro	28-43
Moqueta fina	20-30
Laminado de PVC sobre fieltro	11-21
Laminado de caucho con reverso blando	22-26
Baldosas cerámicas con reverso blando	4-15
Laminado de PVC sin reverso	1-4
Baldosas cerámicas normales	0-1
Baldosas terrazo	0

\* Puede variar según el tipo o modelo concreto

Para alcanzar el aislamiento del ruido aéreo es necesario que el valor R del forjado sea del orden de 59 dB (A) para compensar las transmisiones indirectas.

En cualquier caso, es necesario tener muy presentes las recomendaciones de la ficha de ASEMAS: "Aislamiento acústico a ruido aéreo en divisiones verticales" en relación con las transmisiones indirectas, y, tal como se ha indicado anteriormente, la influencia de los tabiques en contacto con los forjados.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que estos pavimentos tienen un efecto térmico por contacto que puede ser favorable en las regiones frías, pero muy desfavorable en las cálidas.

##### 4.3.2.2.2 PROCEDIMIENTOS BASADOS EN PAVIMENTOS FLOTANTES

En el mercado se encuentran desde hace pocos años ciertos pavimentos de madera, o de composites basados en ella, que, dado su sencillo método de colocación, es decir, simplemente dispuestos sobre un fieltro, reciben la denominación de parqués flotantes. Se ha de destacar que por sí mismos no aportan ningún tipo de eficacia acústica, a no ser que el fieltro disponga de las características de resiliencia apropiadas y el pavimento no tenga conexiones rígidas con el forjado o la estructura.

En el mercado europeo se pueden encontrar productos que aportan una  $\Delta L$  entre 14 y 25 dB(A). Obviamente, el fabricante tiene que garantizarlo para cada producto en concreto.

En cualquier caso, no tienen ninguna influencia en el aislamiento del ruido aéreo, ya que no aportan masa ni forman una doble hoja, salvo que documentalmente se compruebe que sí.

Si se desea un entarimado clásico, la solución requiere que los rastréales no se fijen en el forjado, sino que se depositen sobre un fieltro resiliente. El relleno de los espacios con lana mineral mejora el resultado.

#### 4.3.2.2.3 PROCEDIMIENTOS BASADOS EN PAVIMENTOS SOBRE LOSAS FLOTANTES

La losa pesada depositada sobre un panel de material específicamente aislante de la vibración o losa flotante es el único procedimiento que permite alcanzar los dos objetivos simultáneamente. La vibración que produce el ruido de impacto llega al forjado muy debilitada. Al formar una doble hoja (véase la ficha de ASEMAS: "Aislamiento acústico a ruido aéreo en divisiones verticales"), su eficacia frente al ruido aéreo lo es en los dos sentidos, de arriba abajo y viceversa.

La solución más habitual es la losa de hormigón armado de un espesor de unos cuatro centímetros sobre paneles o de fibras minerales o de poliestireno expandido elastificado. Una vez realizada, sobre ella se puede colocar cualquier tipo de pavimento.

En el cuadro se expone la eficacia ( $\Delta L$ ) de los productos aislantes más usuales, analizados en laboratorio sobre forjado macizo y bajo losa de 4 centímetros.

Reducción del ruido impacto	$\Delta L$ Db(A)
Paneles semirígidos de fibras minerales (15 a 40 mm)	26-34
Poliestireno expandido elastificado (20 a 40 mm)	13-30
Espuma de polietileno expandido (5 - 10 mm)	13-22

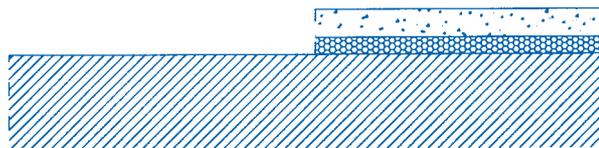


El resultado final, ya colocada la losa sobre un forjado habitual, en relación con los dos tipos de aislamiento, depende del tipo de forjado. Como se ve en el cuadro adjunto (fig. 4), no es necesario que sea pesado para alcanzar valores altos de aislamiento. Es más, cuanto más ligero es, más aumenta relativamente el incremento del aislamiento proporcionado por la losa.



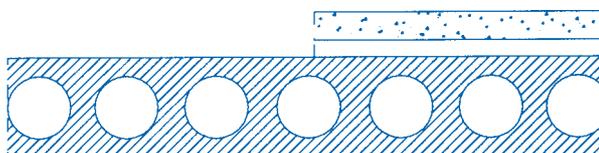
**forjado de losa maciza de hormigón armado,**  
**m = 330 kgs/m<sup>2</sup>**

sin losa flotante R = 54 dB(A) L<sub>η</sub> = 83 dB(A)  
 con losa flotante R = 59 dB(A) L<sub>η</sub> = 51 dB(A)



**forjado de losa prefabricada aligerada,**  
**m = 210 Kgs/m<sup>2</sup>**

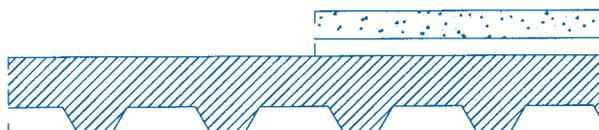
sin losa flotante R = 49 dB(A) L<sub>η</sub> = 88 dB(A)  
 con losa flotante R = 54 dB(A) L<sub>η</sub> = 59 dB(A)



**Losa prefabricada aligerada**

**forjado de hormigón sobre chapa de acero,**  
**m = 160**  
**Kgs/m<sup>2</sup>**

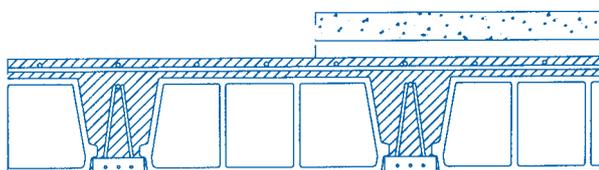
sin losa flotante R = 43 dB(A) L<sub>η</sub> = 94 dB(A)  
 con losa flotante R = 56 dB(A) L<sub>η</sub> = 69 dB(A)



**Forjado sobre chapa de acero**

**forjado de bovedilla de hormigón, m = 310 Kgs/m<sup>2</sup>**

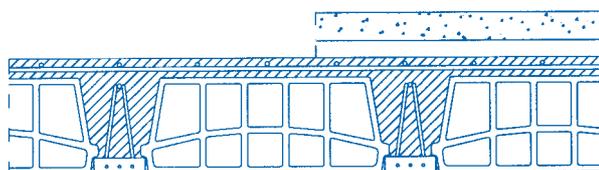
sin losa flotante R = 50 dB(A) L<sub>η</sub> = 90 dB(A)  
 con losa flotante R = 59 dB(A) L<sub>η</sub> = 56 dB(A)



**Forjado de bovedilla hormigón**

**forjado de bovedilla cerámica, m = 320 Kgs/m<sup>2</sup>**

sin losa flotante R = 47 dB(A) L<sub>η</sub> = 95 dB(A)  
 con losa flotante R = 58 dB(A) L<sub>η</sub> = 56 dB(A)



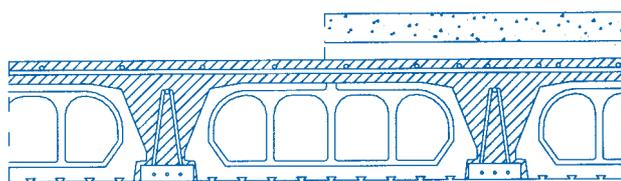
**Forjado de bovedilla cerámica**

**forjado de bovedilla de EPS, m = 228 Kgs/m<sup>2</sup>**  
 sin losa flotante y sin enlucido  
 R<sub>A</sub> = 44,7 dB(A) L<sub>W</sub> = 94 dB

**forjado de bovedilla de EPS, m = 246 Kgs/m<sup>2</sup>**  
 sin losa flotante y con enlucido de 15 mm.  
 R<sub>A</sub> = 48,9 dB(A) L<sub>W</sub> = 82 dB

**forjado de bovedilla de EPS, m = 346 Kgs/m<sup>2</sup>**  
 con losa flotante de 4 cm de espesor, un poliestireno  
 elasticado de 2cm y un enlucido de yeso de 15 mm.  
 R<sub>A</sub> = 59,1 dB(A) L<sub>W</sub> = 65 dB

**forjado de bovedilla de EPS, m = 350 Kgs/m<sup>2</sup>**  
 con losa flotante de 4 cm de espesor, un poliestireno elasticado de 4cm y un enlucido de yeso de 15 mm.  
 R<sub>A</sub> = 66,0 dB(A) L<sub>W</sub> = 57 dB

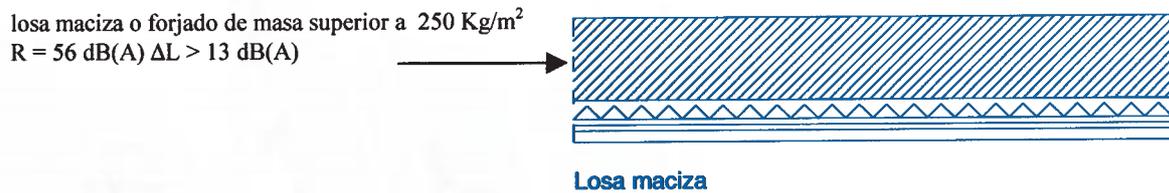
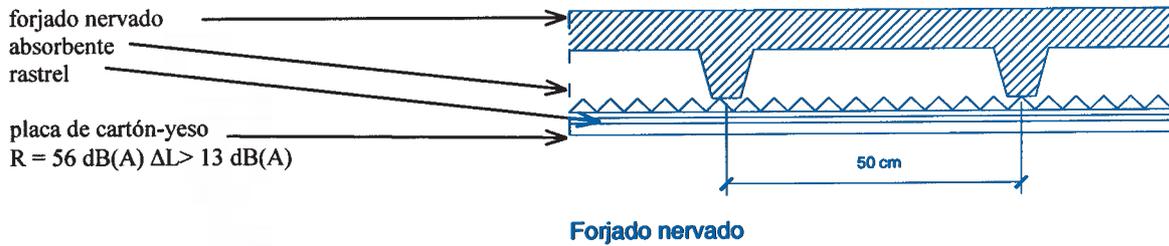


**Forjado aligerado con bovedillas de EPS**

**NOTA:** Si desea ampliar la información sobre este aspecto consulte en [www.anape.es](http://www.anape.es) el documento:  
 "Forjados Aligerados con piezas de EPS. Evaluación del Comportamiento Acústico".

#### 4.3.2.2.4 PROCEDIMIENTOS BASADOS EN TECHOS COLGADOS

El último procedimiento posible es el de formar una doble hoja, no por arriba sino por debajo, por medio de un falso techo colgado. Para que sea mínimamente eficaz el sistema de cuelgue debe ser aislante de la vibración del forjado. Los procedimientos más sencillos no aportan esta propiedad y es necesario recurrir a alguna patente específica que garantice documentalmente el resultado. En todos los casos, las transmisiones indirectas no se impiden y para reducir su incidencia la única solución pasa por forrar las paredes del local receptor del ruido. A continuación se presentan las prestaciones a ruido aéreo y la disminución probable del ruido de impacto de tres soluciones genéricas.





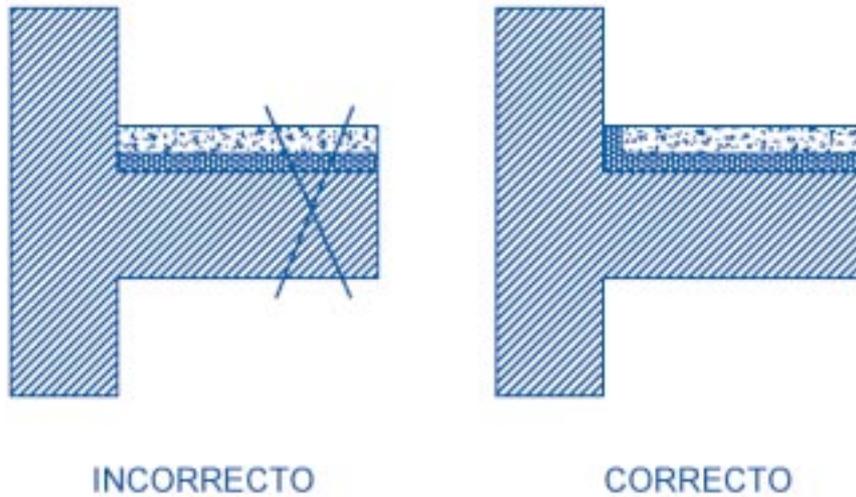
#### 4.3.2.5 PRECAUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA LAS LOSAS FLOTANTES

En todos los casos es preciso tener en cuenta una previsión fundamental: se debe evitar todo contacto rígido entre losa y forjado. Si la solución es una losa flotante, se deben adoptar las siguientes precauciones:

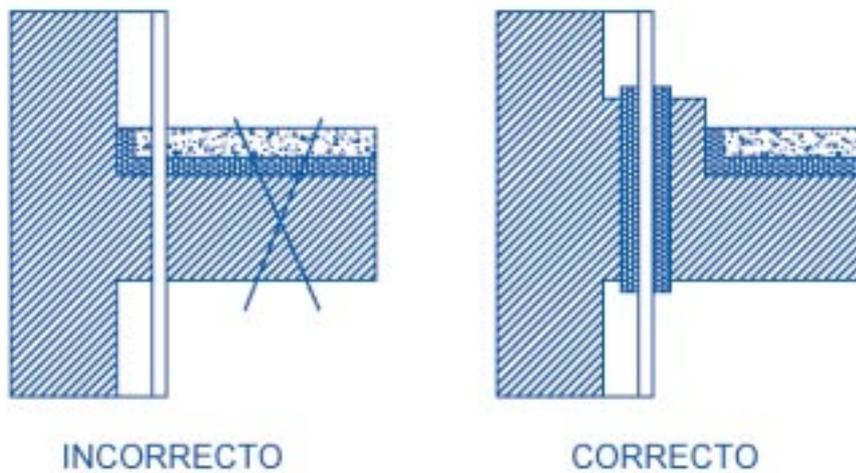
a) No se debe interrumpir la continuidad del aislante.



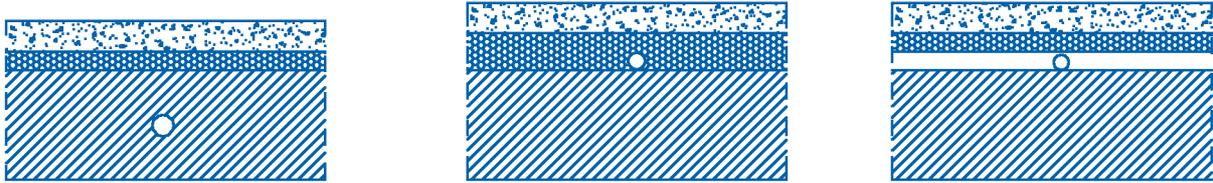
b) La unión con paredes o pilares, tanto de la losa como del pavimento final, se ha de aislar de la misma manera.



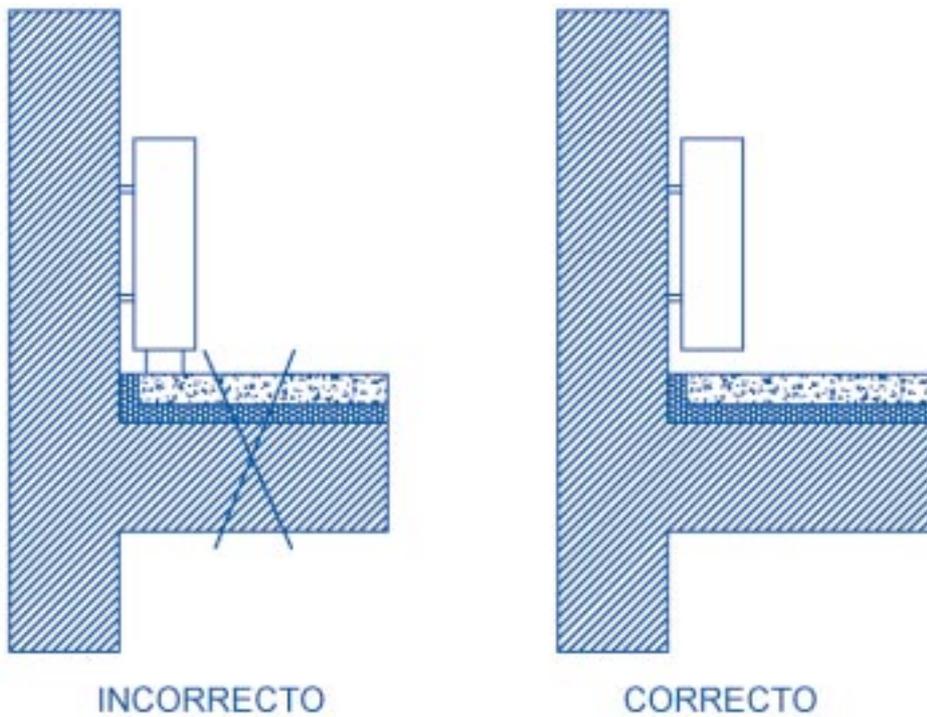
c) Los pasos verticales de instalaciones se han de aislar de la misma manera.



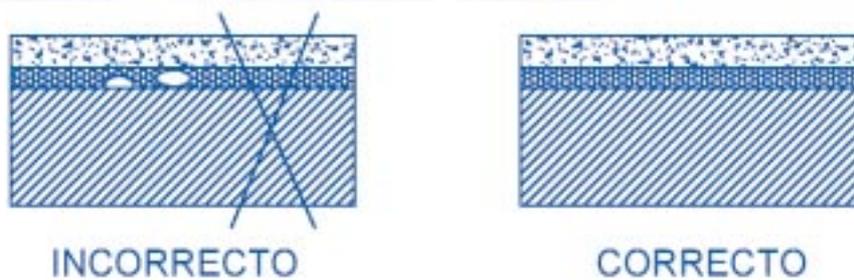
d) Los conductos bajo pavimento no deben tocar la losa flotante.



e) Los radiadores no se han de apoyar en el pavimento y fijarse a la pared simultáneamente.



f) El forjado debe estar totalmente limpio antes de colocar el material aislante.





### 4.3.3 COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA

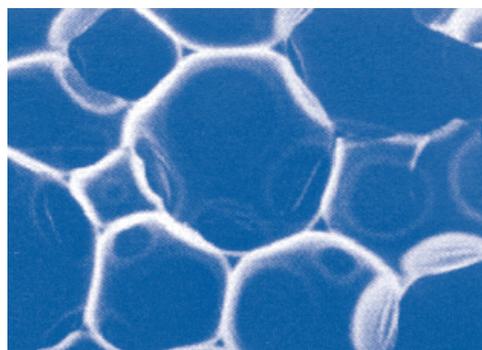
Al igual que pasa con el aislamiento térmico, las piezas de aligeramiento de EPS disponen de una característica adicional, la baja absorción de agua lo que le proporciona al forjado una cierta capacidad de "barrera impermeabilizante".

Esto es especialmente importante en:

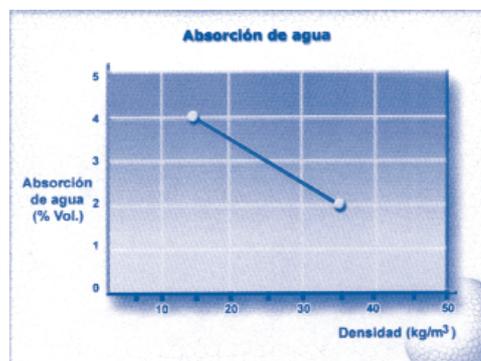
- Forjados sanitarios.
- Forjados emplazados en dependencias sin ventilación sujetos a condensación (cuartos de maquinaria).
- Forjados emplazados en dependencias con unas características térmicas importantes con riesgo de condensación (cámaras frigoríficas).
- Forjados en contacto con agua (depósitos).

#### 4.3.3.1 ABSORCIÓN DE AGUA

Al contrario que muchos otros materiales de construcción, el poliestireno expandido no es higroscópico. Tan sólo sumergido totalmente en agua, absorbe un despreciable porcentaje de la misma. Esto es debido a la estructura de celdas esencialmente cerrada que forman las diferentes perlas que al soldarse entre sí conforman las piezas de poliestireno expandido (EPS).



Los niveles de absorción de agua por inmersión total (según UNE-EN-12087) a largo plazo, se realizan con un ensayo acelerado a 28 días que arroja valores dentro del intervalo 0-5% en volumen. La mayor parte de los productos de poliestireno expandido tienen una absorción de agua por inmersión entre 1 y 3% y esta capacidad de absorción se reduce con el aumento de densidad del material.



#### 4.3.3.2 DIFUSIÓN DE VAPOR DE AGUA

El vapor de agua contenido en el aire como humedad ambiental al contrario del agua, puede penetrar lentamente (difundir) a través del material aislante, siempre que exista un gradiente de temperatura y en el caso de enfriamiento puede depositarse como agua de condensación.

Los materiales de condensación oponen una resistencia mas o menos elevada a esta difusión del vapor de agua. La resistencia ( $\mu S$ ) es el resultado del coeficiente de resistencia a la difusión de vapor de agua ( $\mu$ ) y del espesor de capa ( $S$ ). El factor de resistencia a la difusión ( $\mu$ ) es un valor adimensional que, razón por la que las hojas metálicas se utilizan como barreras de vapor.

Entre los dos valores extremos del aire y del metal se encuentra situados los valores de todos los demás materiales.

Las piezas de poliestireno expandido poseen un factor de resistencia a la difusión de vapor que varia según su densidad entre  $\mu = 20$  hasta  $\mu = 100$

A continuación se recoge un extracto de la norma UNE-12524. (Materiales y productos de edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores de diseño tabulados) con los datos de los elementos habituales empleados en forjados.

Grupo de materiales o aplicación	DENSIDAD $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Factor de resistencia al vapor de agua $\mu$	
		seco	húmedo
Hormigón armado	2400	130	80
Cerámica	2000	40	30
Hormigón	2100	100	60
Poliestireno expandido (EPS)	10 - 50	60	60
Lana mineral	10 - 200	1	1
Lámina de polietileno	1000	100.000	100.000
Moqueta	200	5	5
Madera	500	50	20
Grés	2600	40	30



#### 4.3.4 MEDIO AMBIENTE

Las características del EPS hace que se tenga que considerar como un valor añadido a las construcciones por su valor medio ambiental.

1. Por sus buenas cualidades como aislante térmico mejora el comportamiento térmico de los forjados reduciendo el consumo energético del interior del edificio.
2. Como material ligero compuesto de un 98% de aire, reduce los gastos energéticos de transporte.
3. Por el ahorro que supone en el armado de los forjados: Valor promedio 1 kg/m<sup>2</sup>.

#### 4.3.5 EL EPS Y LA SALUD

El EPS no es un producto tóxico, no tiene peligro en su uso cotidiano, como lo pone de manifiesto su empleo en el mundo entero como material de envase y embalaje en el sector agro-alimentario, que implica un contacto directo con los alimentos. En sus aplicaciones en Construcción, el EPS se utiliza principalmente como aislamiento térmico, aligeramiento en forjados, como encofrado perdido, rellenos y en diversas aplicaciones singulares, sin riesgo para el que lo fabrica, lo instala o lo utiliza.

El EPS no requiere de elementos de seguridad y precaución particular durante su manipulación, ya que el material no genera alergias, ni ningún tipo de enfermedad en contacto directo con las manos. El EPS no contiene fibras, ni CFC's ni HCFC's, ni ningún gas distinto del aire.



##### 4.3.5.1 GESTIÓN DE LOS RESIDUOS

Una vez puesto en obra, el EPS resiste los asentamientos y garantiza el mantenimiento de sus propiedades térmicas y acústicas, motivo por el que puede ser reciclado y reutilizado.

También puede ser utilizado como material de combustión y producción de energía.

##### 4.3.5.2 EL RECICLADO DEL EPS

Los residuos de la construcción se clasifican según su procedencia o según su naturaleza;

Según su procedencia;

- 1.- Derribo.
- 2.- Nueva construcción.
- 3.- Excavación.

Según su naturaleza;

- 1.- Residuo inerte.
- 2.- Residuo Banal o no especial.
- 3.- Residuo especial.

Los restos y residuos de EPS se consideran un residuo inerte y pueden proceder como resto de las piezas utilizadas en nueva construcción o como derribo de una construcción existente.

Los residuos de EPS pueden ser recuperados y reciclados. Para mejorar esta finalidad la Asociación Nacional del Poliestireno Expandido ANAPE y ECOEMBES han firmado un convenio para la creación e implantación de centros de recuperación y reciclado de residuos de poliestireno expandido denominados centros ECO-EPS.

Con el establecimiento de estos centros se persigue un notable aumento de los niveles de recuperación y reciclado actualmente existentes en nuestro país. El reciclado del EPS es una realidad constatada en nuestro entorno europeo con una tasa de recuperación del 35% (25% de reciclaje mecánico) sobre la producción de envases y embalajes de poliestireno expandido.

En base a lo anterior, la parcela reciclar, aún necesitando de esfuerzos, cuenta con potencialidad, pero para reciclar, primero hay que recuperar y desde ANAPE y otras organizaciones involucradas se están acometiendo iniciativas al respecto para conseguir la colaboración de los agentes que pudieran estar involucrados en el acopio de los residuos (profesionales, industrias, comercio, distribución, puntos de depósito de residuos, plantas de selección...). Los Centros ECO EPS les darán un servicio de retirada de los mismos para su posterior tratamiento.

Una vez los productos de EPS han cumplido la función para lo que fueron creados existen numerosas opciones para obtener una nueva utilidad de los residuos generados.

#### **4.3.5.2.1 RECICLADO MECÁNICO**

A partir de sencillos procesos de trituración o compactado y extrusión de los residuos procedentes de productos de EPS usados, pueden obtenerse nuevas aplicaciones como:

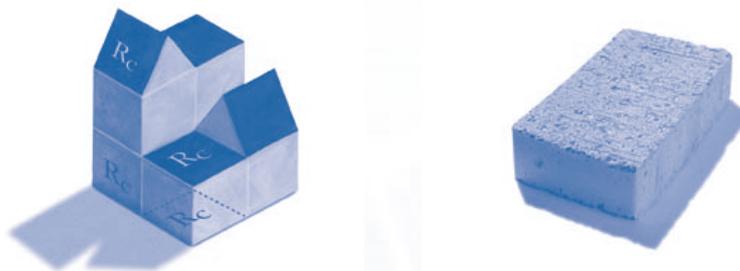


##### **4.3.5.2.1.1 Fabricación de nuevas piezas de poliestireno expandido**

Una vez triturados y molidos los residuos de EPS, se mezclan en determinados porcentajes con el material preexpandido virgen para la fabricación de nuevos bloques y piezas moldeadas de poliestireno expandido. Según sus aplicaciones, los nuevos productos pueden contener material reciclado con tasas superiores al 40%.

##### **4.3.5.2.1.2 Incorporación a otros materiales de construcción**

Los residuos de EPS, tras su molido a diferentes granulometrías, se mezclan con otros materiales de construcción para aportar ligereza y prestaciones de aislamiento térmico. De esta forma se fabrican hormigones aligerados, ladrillos porosos, placas de drenaje, morteros y revocos aislantes.



##### **4.3.5.2.1.3 Mejora de suelos**

Las partículas molidas de EPS se utilizan para ser mezcladas con la tierra de cultivo y de esta forma se mejora su drenaje y aireación, contribuyendo a un mejor desarrollo de las plantas. Muchos viveros que utilizan semilleros y bandejas de transporte de macetas de poliestireno expandido aprovechan estos productos, una vez cumplida su función, para esta aplicación.



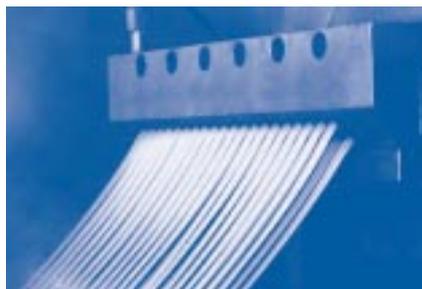


#### 4.3.5.2.1.4 Material auxiliar de compostaje

Aquí los productos triturados de EPS contribuyen a la aireación de los residuos orgánicos y constituyen una valiosa ayuda en la elaboración del compost.

#### 4.3.5.2.1.5 Producción de granza de PS (poliestireno compactado)

Los residuos, una vez triturados y compactados se destinan a plantas recicladoras de plásticos, donde a través de procesos de extrusión se obtiene una nueva materia prima: el poliestireno compactado (PS) en forma de granza. Esta nueva materia prima se emplea para fabricar piezas sencillas mediante moldeo por inyección como perchas, bolígrafos, casetes de audio y vídeo, carcasas, macetas, material de oficina, etc...



#### 4.3.5.2.1.6 Sustitutivos de madera

Mediante la extrusión de residuos de EPS pueden producirse artículos sustitutivos de la madera como mobiliario de parques y jardines, vallas y postes.

#### 4.3.5.2.2 EL RECICLADO QUÍMICO

A partir del reciclado químico de los materiales plásticos, también conocido como feedstock recycling, se pueden obtener las materias primas de partida. En el cuadro adjunto se presentan los diferentes procesos y los productos que se obtienen.

PROCESO	PRODUCTO OBTENIDO
ALCOHOLISIS, GLICÓLISIS	NUEVOS MONÓMEROS
PIROLISIS, HIDROGENACIÓN	PRODUCTOS PETROQUÍMICOS
GASIFICACIÓN	GAS DE SÍNTESIS

#### 4.3.5.3 LA RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

El reciclado no siempre tiene por qué constituir la mejor opción a la hora de gestionar los residuos, ya sea por motivos económicos, medioambientales, logísticos o por una combinación de todos estos factores. Para estos casos, diversos estudios y ecobalances han puesto de manifiesto que la combustión limpia con recuperación energía constituye una buena solución a la hora de tratar estos residuos.

Según se observa en el esquema adjunto, el EPS, como todos los materiales plásticos, tiene un alto poder calorífico (1kg. De EPS contiene tanta energía como 1,3 litros de combustible de calefacción), por lo que es un material idóneo para esta opción de tratamiento de residuos. Además el empleo de residuos de EPS como fuente energética, evita o atenúa la necesidad de consumir combustibles fósiles, contribuyendo a la conservación de estos recursos naturales.

Con respecto a esta alternativa para la gestión de los residuos, en ocasiones se plantea la posible toxicidad de las emisiones. En el caso del EPS no hay ningún problema en este sentido, ya que cuando la incineración se realiza en instalaciones modernas y a altas temperaturas, los productos de combustión son esencialmente vapor de agua, dióxido de carbono y niveles muy pequeños de cenizas no tóxicas.

#### **4.3.5.4 EL VERTIDO**

El vertido es la opción menos deseable de entre todas las alternativas para la gestión de los residuos, ya que implica un desaprovechamiento de los recursos naturales al no poder valorizar estos residuos, ya sea a través de nuevas aplicaciones o de la extracción del contenido energético de los mismos. Pero cuando no haya otro método de gestión alternativo y viable, los residuos de EPS pueden destinarse al vertedero con total seguridad, ya que el material es biológicamente inerte, no tóxico y estable. Y como no se degrada, no contribuye a la formación de gas etano (con su correspondiente potencial de "efecto invernadero") y por su carácter inerte y estable, tampoco es fuente de lixiviados para las aguas subterráneas.

#### **4.3.5.5 LOS RESIDUOS DE EPS EN EL INCENDIO Y SU ELIMINACIÓN**

##### **4.3.5.5.1 LA LIMPIEZA DEL EDIFICIO DESPUÉS DEL INCENDIO**

Las emisiones desprendidas y los residuos restantes cuando el EPS se ha quemado no representan ningún peligro particular al medio ambiente. El agua de la extinción de un incendio de EPS y sus residuos se pueden eliminar sin ningún tratamiento especial en las instalaciones municipales para aguas residuales y residuos sólidos respectivamente.

En la mayoría de incendios, están involucrados gran número de materiales. Después de un incendio en el que hay residuos de EPS, el edificio debería limpiarse del siguiente modo:

- Quitar el polvo y el hollín por medio de aspiradora, asistida por barrido mecánico.
- Limpiar con arena las superficies porosas como la del hormigón.
- Limpieza húmeda cuando los sean insuficientes los procedimientos 1 y 2, por ejemplo con detergentes con soluciones alcalinas.
- Los residuos de la operación de limpieza se deberían recoger y eliminar por incineración, la temperatura mínima recomendada de operación del incinerador es 850°C. Este trabajo debería ser realizado por compañías especializadas en este campo.



## 5. APLICACIONES

### **5.1 EDIFICIOS DE NUEVA PLANTA**

- En general se pueden aplicar en cualquier edificio o construcción.
- Edificios de gran altura.
- Edificios singulares que requieran un aumento de la luz entre soportes.
- Edificios emplazados en terrenos con baja capacidad portante y requieran de construcciones con una transmisión de cargas baja.

### **5.2 REHABILITACIÓN**

- Restauración de Patrimonio arquitectónico.
- Substitución de forjados de madera o alfarjes.
- Substitución de forjados metálicos;
- Substitución de forjados con patología; Corrosión de armaduras, aluminos, etc.
- Intervenciones de reparación refuerzo de forjados existentes.

### **5.3 REFORMA Y AMPLIACIÓN**

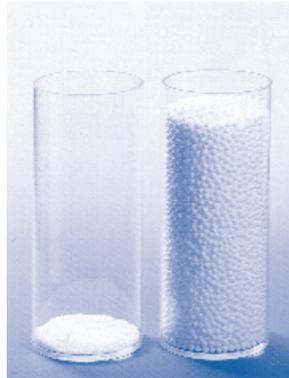
- Remonta de edificios. (Ampliación en altura de edificios existentes.)
- Reformas o ampliaciones en edificios, que utilicen la estructura vertical del edificio existente.

## 6. ANEXOS

### 6.1 PRODUCCIÓN DE EPS

#### 6.1.1 LA MATERIA PRIMA, EL POLIESTIRENO EXPANDIBLE

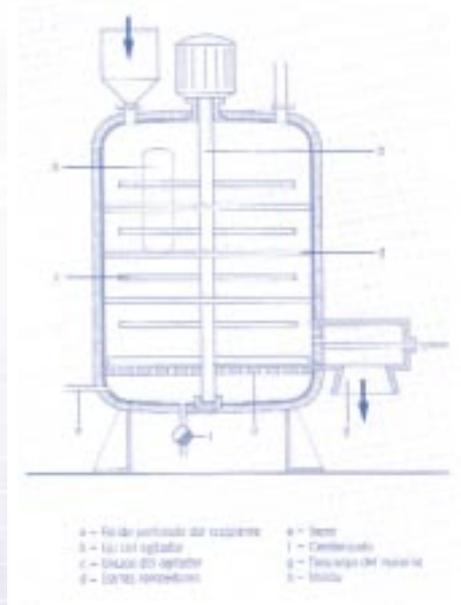
Se obtiene por polimerización del estireno con introducción de un agente de expansión: el *pentano*. Este polímero se presenta en forma de perlas esféricas de diámetros entre 0,3 y 2 mm.



El **poliestireno expandido (EPS)** se obtiene a partir del poliestireno expandible después de las siguientes etapas de transformación:

#### 6.1.2 LA PRE-EXPANSIÓN

La Materia Prima se expande con vapor de agua a 100-115°C. Esta operación se realiza en recipientes cilíndricos provistos de agitadores, denominados aparatos de pre-expansión que trabajan de manera continua o discontinua. Debido a la alta temperatura, la materia prima se ablanda, la presión de vapor del agente de expansión (el pentano) se eleva e hincha las perlas hasta que estas llegan a alcanzar 50 veces su volumen original. Durante esta fase del proceso la materia prima pierde aproximadamente el 30% del pentano.





## 6.2 COMPORTAMIENTO DEL EPS EN CASO DE INCENDIO

### 6.2.1 GENERALIDADES

El poliestireno expandido deriva principalmente del monómero estireno y es expandido para formar una estructura celular esencialmente cerrada. Cuando se considera el comportamiento al fuego de cualquier material de construcción es importante darse cuenta de que la evaluación debe estar basada en su comportamiento en condiciones finales de uso. Este comportamiento dependerá no sólo de la naturaleza química del material sino en gran manera de su estado físico.

De este modo, los factores importantes que deben ser considerados a la hora de determinar el potencial riesgo de incendio del EPS son:

- La densidad de la espuma y la forma del producto.
- Su configuración relativa a una fuente de ignición.
- El uso de cualquier adhesión a un substrato o revestimiento.
- La situación del producto (que influirá en el transporte del calor).
- La disponibilidad de oxígeno (ventilación).

### 6.2.2 CONTRIBUCIÓN A LA PROPAGACIÓN DEL FUEGO

Las disposiciones y normativas de la edificación regulación de la edificación en toda Europa estipulan requisitos respecto a una estructura completa y parten de la base de especificar la contribución a la propagación del fuego a partir de la respuesta a la densidad de carga de fuego en la superficie de un elemento estructural. Esto se conoce como sistema de clasificación en "Reacción al Fuego".

### 6.2.3 LIBERACIÓN DE CALOR

El alcance y la tasa de liberación de calor está limitado fundamentalmente por la ventilación. Por ejemplo, una espuma de densidad 16 kg/m<sup>3</sup> requiere aproximadamente 150 veces su volumen en aire para completar su combustión. La completa combustión del poliestireno expandido es improbable que ocurra, luego raramente liberará su potencial de calor completamente.

*Una capa de 200 mm de espesor de EPS con una densidad de 20 kg/m<sup>3</sup> representa la misma cantidad de energía que una capa de 17 mm de espesor de madera de pino. ¿Pero quién pone en duda el uso de una capa de madera de pino de 17 mm de espesor como superficie desprotegida en un techo o una pared.*



## 6.2.4 HUMOS

Normalmente el EPS está protegido del fuego por materiales que le rodean y sólo se verá afectado por el fuego cuando todo el edificio esté envuelto en llamas. En estos casos, el EPS se contraerá debido al calor, pero no arde y no contribuye a la propagación del fuego y la cantidad de humo será limitada. La producción de humo será consecuentemente pequeña. Se puede concluir que el EPS, cuando se utiliza correctamente en las aplicaciones recomendadas, no supone un riesgo mayor en materia de densidad de humos.

## 6.2.5 PROPAGACIÓN DE LA LLAMA

La propagación de la llama es un proceso de ignición progresiva a lo largo de una superficie continua. En paramentos donde el poliestireno expandido está unido a un sustrato rígido y está provisto de una capa de protección exterior, el riesgo de propagación de la llama está también afectado por las propiedades físico / térmicas de la superficie sobre la que el poliestireno expandido puede haberse fundido.

Donde ha ocurrido el fallo localizado de la capa de protección, el aire suministrado, así como la orientación, a la superficie expuesta de poliestireno expandido son importantes para determinar el riesgo de propagación de la llama, (p. ej. Una fachada de doble hoja con aislamiento intermedio con planchas de poliestireno expandido), es improbable una fuerte propagación debido a la carencia de circulación del aire de combustión.

Aunque al quemar EPS se produce humo negro, la toxicidad de estos humos liberados es considerablemente menor que aquellos liberados por otros materiales de uso común.

**Toxicidad de humos del EPS y varios materiales "naturales"**

Muestra	Gases desprendidos	Fracciones emitidas (v/v) en ppm a diferentes temperaturas			
		300°C	400°C	500°C	600°C
EPS (std)	Monóxido de carbono	50*	200*	400*	1000*
	Estireno monómero	200	300	500	50
	Otros componentes aromáticos	fracciones	10	30	10
	Bromuro de hidrógeno	0	0	0	0
EPS (con retardantes)	Monóxido de carbono	10*	50*	500*	1000*
	Estireno monómero	50	100	500	50
	Otros componentes aromáticos	fracciones	20	20	10
	Bromuro de hidrógeno	10	15	13	11
	Componentes aromáticos	—	—	—	300
Plancha de aglomerado	Monóxido de carbono	14000 **	24000**	59000**	69000**
	Componentes aromáticos	fracciones	300	300	1000
Corcho expandido	Monóxido de carbono	1000*	3000**	15000**	29000**
	Componentes aromáticos	fracciones	200	1000	1000

\* ardiendo sin llama

\*\* con llama

— no detectado

Notas: Condiciones de ensayo especificadas en DIN 53436; Índice de flujo de aire 100 l/h;

Probetas de ensayo de 300 mm x 15 mm x 20 mm comparadas en condiciones normales de uso final

### **La contribución del pentano**

*El pentano se utiliza como agente expansor del poliestireno expandible en poliestireno expandido (EPS). Es un hidrocarburo puro que, aunque es inflamable, migra desde el producto final de EPS, en un corto espacio de tiempo después de su fabricación. Lo que es más, el pentano es inestable y se descompone en la atmósfera en dióxido de carbono y agua en pocas horas. El pentano, por consiguiente, no juega un papel significativo en las propiedades del EPS en relación con el fuego, ni en la causa o desarrollo de un fuego en un edificio.*

*La conclusión a partir de todos los estudios es clara: los gases y humos despedidos por el EPS cuando se quema (tanto estándar como tratado con retardantes) son menos tóxicos que los despedidos en la combustión de materiales 'naturales' y que en la mayoría de los plásticos.*

## **6.2.6 RECUBRIMIENTOS**

Como se expuso anteriormente, el EPS, como la mayoría de los plásticos, no es incombustible.

**Como una regla estándar el EPS nunca se debería instalar sin recubrimiento**, si la habitación tiene el más mínimo riesgo de incendio. Cuando el aislamiento con EPS se ha realizado profesionalmente sólo le alcanzará el fuego, en caso de incendio del edificio, si los materiales de alrededor ya han ardido o se han desplomado. Esto significa que el edificio y sus contenidos ya estaban envueltos en llamas antes de que el fuego alcanzara al EPS. Sólo puede ser resultado de la indiferencia, la ignorancia o el descuido que el fuego alcanzara al EPS al inicio del incendio. Un área de aplicación que a menudo está afectada por el fuego es la cubierta plana aislada. Ya se ha mostrado que con un buen diseño, que incorpore compartimentación, planos detallados y una cuidadosa puesta en obra que tenga en cuenta las medidas preventivas, se puede realizar sin dificultad una cubierta aislada con EPS segura frente al fuego.

Por lo tanto se recomienda que los productos de poliestireno expandido instaladas siempre deberían estar cubiertas por una capa superficial, adecuadamente fijada para prevenir el derrumbamiento en caso de incendio. La colocación sobre la superficie de poliestireno expandido de 9 mm de espesor de cartón yeso o 10 mm de espesor de yeso se ha mostrado como resistente a la inflamabilidad, si la capa está soportada mecánicamente. En caso de capas sin este tipo de soportes mecánicos, simplemente aplicadas directamente al poliestireno expandido, permanecerán estables mientras se mantenga íntegra. Acabados finos, como una película de yeso, lámina de aluminio, pinturas tratadas con ignífugas o capas intumescentes, aplicados directamente sobre el poliestireno expandido acaban siendo penetrados y puede ocurrir el fallo progresivo de la capa de protección, pero una vez que el material por debajo se ha ablandado bajo el efecto del calor.

En el sistema de clasificación europeo en Reacción al Fuego para revestimientos de paredes y techos, los revestimientos a base de yeso (aplicación manual, proyectado y placas de yeso laminado) sobre poliestireno expandido, obtienen una clasificación Bd0s1.



### 6.3 CONCLUSIONES

El EPS no es incombustible, como es el caso de otros muchos materiales de construcción. Sin embargo, esto es sólo relevante si se evalúa el EPS como un material de aislamiento expuesto. Afortunadamente, la filosofía de seguridad frente al fuego de la Unión Europea ha sido desarrollada sobre las bases o con el propósito de evaluar las estructuras o productos en 'condición final de uso'. Por lo tanto existirán requisitos estipulados en relación con el elemento de construcción completo.

Se recomienda que el poliestireno expandido esté siempre recubierto por un material en toda su superficie, o totalmente encapsulado.

Tomando estos factores en consideración se puede concluir que los productos de poliestireno expandido no representan un excesivo riesgo de incendio ni destacan en un incremento del riesgo de densidad de humos cuando se instalan correctamente en las aplicaciones recomendadas.

También hemos entrado en algunos detalles en la naturaleza y características del material. Hemos demostrado que, en términos de toxicidad en caso de incendio, este plástico se comporta tan bien o mejor que los productos naturales como la madera, el lino, el yute, etc...

*En resumen: ¡Es posible construir con EPS  
y con seguridad frente al fuego!*

**NOTA:** Para una mayor información consulte el Documento:  
"Comportamiento del EPS en caso de incendio". Ed. ANAPE

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### 7.1 ANÁLISIS HISTÓRICO DEL HORMIGÓN EN ESPAÑA

- *La Fabrica Ceres de Bilbao. Los orígenes del hormigón armado en Bizkaia.* Jaume Rosell y Joaquín Carcamo. 1994.

### 7.2 FORJADOS

- *Cálculo, construcción y patología de forjados de edificación.* José Calavera Ruiz. Intemac 1981.
- *Forjados y Losas de piso 1. Forjados unidireccionales.* Gerónimo Lozano Apolo. Ediciones G.L.A.1977.
- *Forjados y Losas de piso 2. Forjados especiales.* Gerónimo Lozano Apolo. Ediciones G.L.A.1977.
- *Curso diseño, cálculo, construcción y patología de forjados.* Gerónimo Lozano Apolo y Alfonso Lozano Martínez-Luengas. Ediciones G.L.A.1999.
- *Los Forjados de los edificios; pasado presente y futuro.* Florentino Regalado Tesoro. Cype Ingenieros.S.A.1999.
- *Breve introducción a las estructuras y sus mecanismos resistentes.* Florentino Regalado Tesoro. Cype Ingenieros.S.A.1999.
- *Cortante y punzonamiento; teoría y práctica.* Florentino Regalado Tesoro. Cype Ingenieros.S.A. 2002.
- *Los Forjados reticulares.* Florentino Regalado Tesoro. Cype Ingenieros.S.A. 1991.
- *Manual AIDEPLA para el proyecto y ejecución de elementos resistentes.* Varios autores. AIDEPLA1997.

### 7.3 HORMIGÓN LIGERO

- *Hormigones ligeros armados.* Helmut Weiger-Karl. Editorial Gustavo Gili.

### 7.4 EJECUCIÓN DE OBRA

- *Recomendaciones para la ejecución de forjados unidireccionales.* Varios autores IETcc.
- *Manual para la dirección de obras.* Faustino Merchan Gabaldon. CIE Inversiones editoriales. Dossat 2000.
- *El libro del director de ejecución de obra.* Antonio Garrido Hernández. Editorial Leynfor Siglo XXI.

### 7.5 AISLAMIENTO TÉRMICO

- *NBE CT-79. Norma básica de edificación sobre condiciones térmicas en los edificios.* Real Decreto 20429/79, de 6 de julio.

### 7.6 AISLAMIENTO ACÚSTICO

- *NBE CA-88. Norma básica de la edificación sobre condiciones acústicas en los edificios.* Real Decreto 1909/81, de 24 de julio, modificado en Orden de 29 de septiembre de 1988, en la que se aclaran y corrigen diversos aspectos de los Anexos de la NBE CA-82.
- *Aislamiento acústico del ruido y de impacto en separaciones horizontales.* Ficha nº6 ASEMAS. José L. González Moreno Navarro



## 7.7 DOCUMENTOS NORMATIVOS

- EHE - Instrucción de hormigón estructural. Ministerio de Fomento. Real Decreto 2661/1998 de 11 de septiembre.
- NBE AE-88. - Norma Básica de Edificación. Acciones en la edificación. Real Decreto 1370/1988 de 11 de noviembre.
- EFHE - Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados. Real Decreto 642/2002, de 5 de julio.
- EA-95 - Norma Básica de Edificación. Estructuras de acero e edificación. Real Decreto 1829/1995, de 10 de noviembre.
- Eurocódigo 0 - Bases de proyecto. (1990)
- Eurocódigo 1 - Acciones sobre las estructuras (1991)
- Eurocódigo 2 - Proyecto de estructuras de hormigón. (1992)
- Eurocódigo 3 - Proyecto de estructuras de acero (1993)
- Eurocódigo 4 - Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero. (1994)
- Eurocódigo 5 - Proyecto de estructuras de madera. (1995)
- Eurocódigo 6 - Proyecto de estructuras de mampostería. (1996)
- Eurocódigo 7 - Proyecto geotécnico. (1997)
- Eurocódigo 8 - Proyecto de estructuras sismorresistentes. (1998)
- Eurocódigo 9 - Proyecto de estructuras de aluminio. (1999)

