



## Sistema portante MK2 de paneles de hormigón armado con núcleo de EPS



C/ SERRANO  
GALVACHE, S/N  
28033 MADRID  
España

Fabricante:  
EMMEDUE CONTINENTAL S.L.  
Sede Social: c/ Rafael Salgado, 7 Bajo izquierda  
28036 - Madrid - España  
Fábrica: Polígono Industrial "Los Frailes" Parcela 36  
Daganzo de Arriba 28814 - Madrid - España

C.D.U.: 692.251  
Systèmes de Construction  
Building System

Publicación emitida por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Prohibida su reproducción.

### MUY IMPORTANTE

EL DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA constituye, por definición, una apreciación técnica favorable por parte del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, de la aptitud de empleo en construcción de materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales destinados a un uso determinado y específico. No tiene, por sí mismo, ningún efecto administrativo, ni representa autorización de uso, ni garantía.  
Antes de utilizar el material, sistema o procedimiento al que se refiere, es preciso el conocimiento íntegro del Documento, por lo que éste deberá ser suministrado, por el titular del mismo, en su totalidad.  
**La modificación de las características de los productos o el no respetar las condiciones de utilización, así como las observaciones de la Comisión de Expertos, invalida la presente evaluación técnica.**  
Cualquier reproducción de este Documento debe ser autorizada por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Este Documento consta de 24 páginas.

### DECISIÓN NÚM. 455

EL DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA,

- en virtud del Decreto n1 3.652/1963, de 26 de diciembre, de la Presidencia del Gobierno, por el que se faculta al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, para extender el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA de los materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales de construcción utilizados en la edificación y obras públicas, y de la Orden n1 1.265/1988, de 23 de diciembre, del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno, por la que se regula su concesión,
- considerando la solicitud formulada por la Sociedad EMMEDUE CONTINENTAL S.L., para la concesión de un DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA al **Sistema portante MK2 de paneles de hormigón armado con núcleo de poliestireno expandido**,
- en virtud de los vigentes Estatutos de la Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction (UEAtc),
- teniendo en cuenta los informes de visitas a obras realizadas por representantes del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, los informes de los ensayos realizados en el IETcc, así como las observaciones formuladas por la Comisión de Expertos, en sesión celebrada el día 26 de diciembre de 2004,

### DECIDE:

Conceder el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA número 455 al **SISTEMA PORTANTE MK2 DE PANELES DE HORMIGÓN ARMADO CON NÚCLEO DE E.P.S.**, bajo las siguientes condiciones:  
**CONDICIONES GENERALES**

El presente DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA avala exclusivamente el Sistema constructivo propuesto por el peticionario, debiendo para cada caso, de acuerdo con la Normativa vigente, acompañarse del correspondiente proyecto técnico y llevarse a término mediante la dirección de obra correspondiente.

El proyecto técnico citado anteriormente vendrá suscrito, en cada caso, por EMMEDUE CONTINENTAL S.L., que aprobará la memoria de cálculo y la documentación gráfica en la que se detalle el montaje de todos y cada uno de los paneles, y, especialmente, el estudio del estado de servicio de las losas.

En general, se tendrán en cuenta las prescripciones de las normativas vigentes. Como recordatorio se citan las siguientes: "Norma básica de acciones en la edificación" (NBE-AE-88); "Instrucción de hormigón estructural" (EHE).

### **CONDICIONES DE CÁLCULO**

En cada caso el fabricante comprobará, de acuerdo con las condiciones de cálculo indicadas en el Informe Técnico de este Documento, la estabilidad, resistencia y deformaciones admisibles, justificando la adecuación del Sistema para soportar los esfuerzos mecánicos que puedan derivarse de las acciones correspondientes a los estados últimos y de servicio, en las condiciones establecidas en la Normativa en vigor y para la situación geográfica.

### **CONDICIONES DE PUESTA EN OBRA**

La puesta en obra será supervisada por EMMEDUE CONTINENTAL S.L., y será realizada por empresas cualificadas y autorizadas por ésta, cuya lista está en posesión del Instituto, las cuales asegurarán que la utilización del sistema se efectúa en las condiciones y campos de aplicación cubiertos por el presente documento. Se adoptarán todas las disposiciones necesarias relativas a la estabilidad de las construcciones durante el montaje, a los riesgos de caída de cargas suspendidas, de protección de personas y, en general, se tendrán en cuenta las disposiciones contenidas en los reglamentos vigentes de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

### **VALIDEZ**

El presente Documento de Idoneidad Técnica número 455, es válido durante un período de cinco años a condición de:

- que el fabricante no modifique ninguna de las características del producto indicadas en el presente Documento de Idoneidad Técnica,
- que el fabricante realice un autocontrol sistemático de la producción tal y como se indica en el Informe Técnico,
- que anualmente se realice un seguimiento, por parte del Instituto, que constate el cumplimiento de las condiciones anteriores, visitando, si lo considera oportuno, alguna de las realizaciones más recientes.

Con el resultado favorable del seguimiento, el IETcc emitirá anualmente un certificado que deberá acompañar al DIT, para darle validez.

Este Documento deberá, por tanto, renovarse antes del 30 de diciembre de 2009.

Madrid 30 de diciembre de 2004.

EL DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS  
DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA

Juan Monjo Carrió

## INFORME TÉCNICO

### 1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

**MK2** es un sistema constructivo basado en un conjunto de paneles estructurales de poliestireno expandido ondulado con una armadura básica adosada en sus caras constituida por mallazos de acero de alta resistencia y barras corrugadas, vinculados entre sí por conectores de acero electro/soldados.

Estos paneles colocados en obra según la disposición de muros, tabiques y forjados que presente su proyecto son completados "in situ" mediante la aplicación de hormigón a través de dispositivos de impulsión mecánica o neumática.

De esta manera los paneles conforman los elementos estructurales de cerramiento vertical y horizontal de un edificio con una capacidad portante que será calculada de acuerdo a la Instrucción de Hormigón Estructural EHE.

El presente documento es válido para aplicaciones del Sistema hasta cuatro alturas

Este sistema es de junta húmeda, puesto que la unión entre los diferentes elementos que integran el sistema es continua. No existen por lo tanto ninguna clase de juntas horizontales ni verticales una vez proyectado el hormigón.

**MK2** es un sistema abierto puesto que permite combinarse con otros sistemas constructivos tradicionales y no tradicionales.

Los elementos que componen el sistema **MK2** son:

- Paneles portantes verticales PR: Elementos de hormigón armado con núcleo de poliestireno expandido para interiores y/o exteriores. Estos elementos trabajan verticalmente y resisten los esfuerzos horizontales que se transmiten en su alineación o los producidos por empujes horizontales. Pueden trabajar a flexión como jácenas de gran canto. Se fabrican para espesores terminados de 10 a 25 cm de espesor con longitud variable.
- Paneles no portantes verticales PN: Elementos de hormigón armado con núcleo de poliestireno expandido para interiores y/o exteriores. Son elementos sin función estructural, con los mismos espesores del PR..

- Paneles para forjados PR: Elementos de hormigón armado con núcleo de poliestireno expandido destinados a construir las placas de forjado, que pueden ser horizontales o inclinadas. Son elementos destinados a soportar las cargas verticales que se originan en el tablero de cada piso o en la cubierta. Cumplen también la función de transmitir y distribuir las cargas horizontales a los elementos verticales portantes.

### 2. COMPONENTES DEL SISTEMA

#### 2.1 Panel portante vertical y para forjado PR

El panel de cerramiento estructural está constituido por una placa ondulada regular de poliestireno expandido, densidad 15 Kg/m<sup>3</sup>, de un ancho estándar de 1.125 mm, que lleva adosadas en sus caras, sendas mallas de acero vinculadas entre si por 80 conectores de acero electro soldados por cada metro cuadrado de superficie.

El espesor del poliestireno expandido puede variar desde 4 cm hasta 26 cm, en función de las necesidades del proyecto arquitectónico pues éste espesor mas el del hormigón que es de 30 mm por cada cara, conforman el espesor total del muro. La profundidad de la onda del EPS es de 12 mm y la separación de las mismas es de 70,30 mm, resultando longitudinalmente 13 ondas curvas y 3 ondas cuadradas por cada placa de ancho nominal 1125 mm. En las figuras 1 y 3 se muestra la geometría de las ondas curvas del panel.

Los mallazos están constituidos por 20 barras de acero longitudinal en cada cara, 6 de las cuales son de acero corrugado diámetro 5 mm (ver figuras 2 y 4) y las 14 restantes son lisas galvanizadas de diámetro 2,5 mm. En la dirección secundaria se dispone de una barra de acero liso galvanizado de diámetro 2,50 mm cada 6,5 cm.

La cuadrícula de armaduras resultante es entonces de 6,25 x 6,50 cm.

Los mallazos sobresalen 50 mm en caras opuestas, de modo tal que al unir dos paneles las mismas se solapan entre si asegurando la continuidad por yuxtaposición, sin necesidad de colocar elementos adicionales de empalme.

Estos mallazos se encuentran unidos entre sí a través de 80 barras de diámetro 3 mm por cada metro cuadrado de superficie de panel, dispuestos

en grupos de 12 conectores cada 13 cm, por cada placa de 1.125 mm de ancho.

Para el encuentro de cerramientos que forman ángulo entre sí, la continuidad se resuelve mediante las mallas angulares que se suministran a tal fin.

Las placas de cerramiento estructural PR una vez hormigonadas pueden ser utilizadas en forma horizontal o vertical ya que poseen capacidad para resistir compresiones centradas y excéntricas y esfuerzos de flexión y corte. Se utilizan como elemento resistente y para la transmisión de las cargas horizontales. Se utilizan como muro portante de edificios en altura y como forjado para luces entre apoyos de hasta 5 metros. Ver figura 2.

Cuando los forjados se encuentren apoyados en sus cuatro bordes, podrán disponerse armaduras suplementarias corrugadas, en obra en la dirección perpendicular a las barras corrugadas de  $\varnothing$  5 mm de los mallazos del panel **MK2** a los efectos de conformar forjados bidireccionales. El refuerzo perpendicular como máximo podrá tener la capacidad mecánica de las armaduras principales de los paneles. Ver figura 14. En estos casos la luz máxima de los mismos podrá ser de 6,00 metros verificándose los Momentos flectores de servicio y las flechas máximas admisibles en estado elástico según lo estipulado en la EHE:

Pueden utilizarse también como muros de contención de suelos con una altura de hasta 3 metros, verificándose en cada caso que los momentos flectores resultantes del empuje activo sean menores que los momentos admisibles de la sección compuesta; podrán disponerse paneles verticales perpendiculares a modo de contrafuertes, que serán reforzados con barras corrugadas según cálculo.

En los forjados el espesor de hormigón de la capa de compresión es de 50 mm y el de la capa de recubrimiento inferior es de 30 mm. Los recubrimientos se miden siempre desde la parte externa de la onda del poliestireno expandido.

## 2.2 Panel no portante vertical PN

Los diferentes tipos posibles se diferencian entre sí, sólo por el espesor del poliestireno expandido, variable de 3 a 25 cm por cada panel. La armadura básica en este caso está compuesta por 20 barras lisas longitudinales de 2,5 mm de diámetro; la armadura de reparto está integrada por barras lisas transversales de 2,5 mm de diámetro con una separación media de 6,5 cm. Se emplean como tabique de simple cerramiento vertical. Ver figura 2.

Para dar continuidad a las uniones entre paneles que conformen aristas horizontales o verticales se dispone de tramos de mallazo planos (Mallas planas) o doblados a 90 grados (Mallas angulares), que permiten el empalme de los paneles por yuxtaposición.

## 3. COMPONENTES DE LOS PANELES

Las piezas que componen los paneles del Sistema **MK2** están fabricadas en poliestireno expandido (EPS) y mallas de acero.

### 3.1 Poliestireno expandido

El poliestireno expandido es un material termoplástico obtenido por la polimerización del estireno. El EPS como material está constituido por la unión de multitud de perlas expandidas de poliestireno, producidas durante un proceso de moldeo con aporte de calor en forma de vapor de agua, obteniéndose un material con las siguientes características certificadas según UNE 53.310/87:

Densidad nominal:	15 Kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica:	0,037 W/ m K
Resistividad al vapor:	0,15 mmHg m <sup>2</sup> día/g cm
Tipo de material:	M1 auto extingible
Clasificación:	Clase III s/Normas NBE CT-79

Tensión de compresión al 10% de deformación  
 $\sigma_{10} \geq 50$  KPa

Resistencia a la flexión ( $\sigma_B \geq 100$  KPa)

El material posee en cuanto a su comportamiento de reacción al fuego la clasificación M1 según la norma UNE-23 727-90.

El espesor del núcleo de poliestireno expandido de los paneles **MK2** deberá ser tal, que el aislamiento térmico correspondiente al cerramiento obtenido, cumpla los requisitos exigidos por la Norma "Norma Básica de la edificación NBE CT-79 Condiciones Térmicas de los Edificios".

Dado que el poliestireno expandido resulta continuo en todos los muros de cerramiento, no resultan puentes térmicos, en contacto con los forjados.

Considerando la conductividad térmica certificada según UNE 53.310/87 para la densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> resultan los siguientes valores del coeficiente de transmisión de calor K, calculado según el lineamiento de la Norma Básica de la Edificación

NBE CT-79 Condiciones Térmicas en los edificios, habiéndose considerado que para el espesor del hormigón su conductividad térmica sea igual a  $1,4 \text{ W/m}^2 \text{ C}$ :

CERRAMIENTO VERTICAL	
FLUJO HORIZONTAL	
PANEL TIPO	K (W/m <sup>2</sup> C)
PR-40	0,769
PR-50	0,636
PR-60	0,543
PR-70	0,474
PR-80	0,420
PR-90	0,377
PR-100	0,342
PR-110	0,313
PR-120	0,289
PR-130	0,268
PR-140	0,250
PR-150	0,234
PR-160	0,220
PR-170	0,208
PR-180	0,197
PR-190	0,187
PR-200	0,178

### 3.2 Aceros

Las barras corrugadas son de calidad B-500 S con límite elástico  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ .

Las barras de acero liso son galvanizadas, con límite elástico  $f_{yk} = 620 \text{ MPa}$ , y tensión de rotura de  $700 \text{ MPa}$ .

Alargamiento mínimo  $> 5 \%$ .

Peso del galvanizado mínimo:  $40 - 50 \text{ gr/m}^2$ .

## 4. HORMIGONES

Se utilizarán hormigones que cumplan las especificaciones marcadas en la EHE, según la clase general de exposición ambiental en que se encuentre ubicada la obra.

El espesor de hormigón será como mínimo de  $3 \text{ cm}$  en cada cara siempre midiendo desde la cara exterior de la onda del núcleo de EPS. En el caso de los forjados el espesor de la capa de compresión será de  $5 \text{ cm}$  como mínimo medidos en la forma citada anteriormente.

Los cementos empleados serán CEM I o CEM II de clase resistente  $32,5 \text{ N/mm}^2$ , debiendo cumplir las especificaciones fijadas en la "Instrucción de hormigón Estructural EHE".

Los áridos podrán ser naturales o de machaqueo y deberán cumplir las prescripciones fijadas en la EHE, con la única limitación que para favorecer la impulsión neumática su granulometría deberá estar comprendida entre  $0$  y  $6 \text{ mm}$ . La mezcla con que se realice la proyección neumática del hormigón estructural **MK2** deberá cumplimentar los requisitos que se enumeran a continuación:

- Consistencia: Debe poder ser aplicado en capas de alrededor  $2 \text{ cm}$  sin que se produzcan desprendimientos.
- Resistencia: A los fines de cálculo se considerará una resistencia a la compresión de  $25 \text{ MPa}$ .
- Baja retracción de fraguado: Para evitar la fisuración provocada por la evaporación del exceso de agua de amasado  $\leq 0,80 \text{ mm/m}$ .

Para satisfacer todas las condiciones descritas es necesario contar con una mezcla de bajo contenido de agua. La relación agua / cemento, en peso no deberá superar  $0,52$  incluyendo la humedad libre de la arena. El agua de amasado cumplirá las prescripciones fijadas en la EHE.

La relación volumétrica cemento/arena podrá variar entre  $1:3$  y  $1:4,5$  dependiendo de la granulometría de la arena disponible en el sitio de la obra.

En virtud de la baja trabajabilidad de las mezclas obtenidas con la razón a/c recomendada, se deberá agregar un reductor de agua de amasado ó plastificante, que cumpla los requisitos indicados en la EHE y en las proporciones que indique su proveedor.

Es un factor importante para la calidad final del hormigón, la enérgica compactación proporcionada por los medios neumáticos de aplicación del mismo.

También podrán emplearse morteros secos industriales elaborados por empresas que posean sello de calidad. En éste caso los morteros industriales deberán cumplir con todos los requerimientos antes expuestos.

## 5. FABRICACIÓN DE LAS PLACAS MODULARES MK2

### 5.1 Lugar de fabricación

El sistema **MK2** es fabricado por la empresa EMMEDUE CONTINENTAL S.L. de España, cuya sede administrativa esta ubicada en la calle de Rafael Salgado,7 bajo izquierda 28036 - Madrid. La

planta industrial esta ubicada en el Polígono Industrial “Los Frailes” Parcela Nro. 36 28814 Daganzo de Arriba – Madrid y cuenta con un sistema interno de aseguramiento de la calidad para la fabricación de sus productos.

## 5.2 Proceso de fabricación

El proceso de fabricación de los paneles **MK2** transcurre fundamentalmente en tres etapas:

### 5.2.1 Corte de los bloques de poliestireno expandido

La placa núcleo de los paneles de forma ondulada, se obtiene mediante el corte con pantógrafo de bloques de poliestireno expandido de medidas aproximadas 4.000 x 1.000 x 1.125 mm.

Estos bloques son cortados con una línea de corte consistente en una máquina controlada por ordenador que combina el movimiento de translación horizontal del bloque, con el movimiento vertical de un conjunto de alambres que separados según el espesor del panel que se desea fabricar, describe el perfil ondulado que se observa en la figura 1.

### 5.2.2 Producción del mallazo de acero básico

A partir de bobinas de alambres de acero lisos de diámetros 2,5 a 3,0 mm y corrugadas de 5 mm un equipo automático controlado por microprocesador realiza el ensamblaje de la malla electro soldada que esta compuesta por 20 barras longitudinales, espaciadas en promedio 6,25 cm con barras transversales espaciadas 6,50 cm.

Esta máquina soldadora automática posee control total de la calidad de soldadura con actuadores regulables de 0 a 100 que operan sobre cada uno de los siguientes puntos:

Precompresión de las barras a soldar por las pinzas.

Intensidad de la corriente

Retención de las pinzas de soldadura

De esta manera se selecciona cada uno de los parámetros necesarios para la correcta soldadura de los diferentes aceros que integran los mallazos con la máxima penetración.

Una vez producida cada malla de la medida programada, un dispositivo automático procede a la descarga y el acopio de la misma.

### 5.2.3 Ensamblaje de paneles

Colocado en una mesa de entrada el conjunto formado por dos mallas de acero electro soldadas con una placa ondulada de poliestireno expandido entre ellas y del espesor de producción requerido, una máquina automática procede a unir estos elementos por medio de conectores de acero de 3,0 mm de diámetro.

Estos conectores son introducidos por 12 cilindros verticales que son abastecidos por rollos de alambre de acero. Estos cilindros enderezan, trasladan y cortan los separadores, mientras que un conjunto formado por 12 pinzas de soldadura (6 superiores y 6 inferiores) proceden a la unión de los conectores a las mallas.

En este caso, al igual que en la producción de las mallas, se controlan por microprocesador los tres parámetros completos de cada soldadura.

Esta máquina tiene un sincronismo de todas las tareas de manera tal que va colocando los conectores a medida que el panel es desplazado horizontalmente a lo largo de la máquina. Realiza un total de 160 puntos de soldadura por cada metro cuadrado de panel.

## 5.3 Producción de mallazos de unión

Para obtener las mallas planas y de refuerzo angular, que son aquellas que se disponen en las aristas horizontales y verticales de las construcciones realizadas con el sistema **MK2**, se utiliza una máquina controlada por microprocesador que produce el corte simple ó el corte y el plegado a 90º de tramos de malla entera, produciendo piezas planas y angulares de 0,260 m y 0,325 m de desarrollo por 1,16 m de ancho.

## 6. CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad se realiza sobre las materias primas componentes de los paneles y sobre el producto terminado.

## 6.1 En fábrica

### 6.1.1 Materias primas

#### 6.1.1.1 Poliestireno expandido

El poliestireno expandido, de la Clase III tipo F, cumplimentando las características certificadas según UNE 53.310/87.

En planta de producción es controlado desde los siguientes aspectos:

##### 1) Visual

Sobre el 100% del material recibido en Planta de producción se efectúa un control visual que implica:

- Integridad del bloque
- Correspondencia de Orden de compra con Documento de Transporte
- Verificación de Marcado de cada bloque

##### 2) Dimensional

Cada 5 bloques que se reciben en Planta se efectúa un Control dimensional donde se procede a la medición con cinta métrica y verificados con una tolerancia dimensional de  $\pm 2$  cm; se verificará la ausencia de defectos visibles.

##### 3) Densidad

Una vez medidos son pesados con balanza electrónica de Clase I, a los efectos de realizar el cociente entre su peso y volumen para determinar la densidad.

La densidad calculada a través del peso en báscula, no debe ser inferior al 95% de la nominal de la partida.

##### 4) Inflamabilidad

De cada partida se tomará una muestra a los efectos de verificar el cumplimiento de la calidad F de la materia prima.

#### 6.1.1.2 Aceros

Los aceros se controlarán según los criterios establecidos en la EHE, para el control a nivel normal.

Los aceros deberán cumplir con la norma UNE-36068-94 y certificados por sello o marca de calidad. El control de las características del acero se efectúa según el reporte del proveedor certificado que acompaña en cada entrega de materiales, un Certificado de Laboratorio en el que se reportan las características del acero. El plan de autocontrol reflejado en el Manual de calidad de la planta industrial y un control externo por laboratorio acreditado comprende el siguiente procedimiento:

El Jefe de Planta de EMMEDUE CONTINENTAL efectúa un control de la presencia del certificado de origen y de la conformidad de los requisitos de calidad solicitados.

El acero deberá ser suministrado por un proveedor certificado, es controlado desde los siguientes aspectos:

##### 1) Visual

Sobre el 100% del material recibido en Planta se efectúa un control visual que implica:

- Correspondencia de Orden de compra con Documento de Transporte
- Etiquetado
- Marcado
- Terminación
- Soldabilidad
- Características Mecánicas

##### 2) Dimensional

Se controla 1 bobina de acero cada 5 recibidas, verificándose el diámetro con calibre, y el peso de una longitud de 1 m extraída de la bobina con balanza Clase I.

##### 3) Ensayos Mecánicos

Mensualmente, sobre la producción del período se toman muestras de malla de acero para efectuar un total de 20 pruebas de tracción y de separación de nudo soldado. Tales pruebas son realizadas internamente en Planta de producción, sobre todos los tipos de malla de acero que se producen.

La registración de las pruebas internas se efectúa en el Diario de Producción.

### 6.1.1.3 Panel terminado

Sobre el panel terminado se efectúan los siguientes controles.

- Dimensional. Se verifica con cinta métrica las dimensiones de los paneles producidos con una tolerancia dimensional igual a l/500.
- Soldaduras. Se realiza una inspección visual de las soldaduras de conectores a los fines de verificar el correcto soldado de los conectores, Soldándose manualmente con soldadura de puntos aquellos conectores que no se hubieran soldado correctamente en la máquina automática.

## 6.2 Control de calidad en obra

### 6.2.1 Hormigones

Los hormigones, tanto los realizados en obra como los suministrados desde una central que deberá poseer sello o marca de calidad, se controlarán según los criterios establecidos en la EHE para el control estadístico. En la recepción del hormigón se solicitará el correspondiente albarán, debiendo ser realizados los ensayos por un Laboratorio externo acreditado. Para la realización del control se establecen los siguientes parámetros:

- Lote: Según Artículo 88.4 de EHE.
- Extensión del lote: 500 m<sup>2</sup> construidos
- Número de amasadas a controlar: 2 amasadas por lote.
- Número de probetas por amasada:
  - 3 probetas para rotura a 24 horas.
  - 3 probetas para rotura a 7 días.
  - 3 probetas para rotura a 28 días.

Cuando el hormigón o en su caso el mortero industrial sea suministrado desde una planta que esté en posesión de Sello de Calidad oficialmente reconocida como Hormigones Pamplona ó similar, no será necesario realizar el control de recepción en obra de sus materiales componentes. En caso contrario se verificará:

- Cemento

Los cementos seguirán la Normativa RC-003 Instrucción para la recepción de cemento y además estarán certificados por el mercado CE.

- Arena

Se comprobará al menos una vez durante la ejecución de la obra o cuando varíen las condiciones de suministro:

- Granulometría
- Tamaño máximo de los granos
- Contenido de finos según UNE 7050
- Contenido de Materia Orgánica, UNE 7082
- Otras impurezas.

- Agua

El agua de amasado deberá cumplir las prescripciones fijadas en la "Instrucción de Hormigón Estructural EHE".

### 6.2.2 Aceros

Las barras de acero corrugadas a colocar en obra se controlarán según los criterios establecidos en la EHE, para el control a nivel normal. En la recepción del acero se solicitará el correspondiente Certificado de Garantía del fabricante, debiendo ser realizados los ensayos por un Laboratorio externo acreditado. Para la realización del control se establecen los siguientes parámetros:

- Partida:

Material suministrado a obra de una sola vez, de la misma designación y procedencia.

- Lote:

Extensión del lote: 20 toneladas

En cada lote se realizarán los siguientes ensayos:

Dos comprobaciones de sección equivalente

Dos comparaciones de características geométricas de los resaltos

Dos comprobaciones de doblado-desdoblado

Límite elástico

Carga de rotura

Alargamiento



## 7. ALMACENAMIENTO

El acopio de paneles EMMDUE se realizará en pilas en horizontal, sobre tirantes de madera apoyados directamente sobre el terreno natural.

Los tirantes o tablas de madera serán, como mínimo dos por cada pila y estarán separados un máximo de 2,80 metros entre sí.

La altura de cada pila no será superior a 35 paneles.

También podrán ser acopiados apoyándose sobre uno de sus cantos.

Se recomienda protegerlas del viento, ya que debido a su peso ligero pueden volar e impactar con cualquier objeto de los alrededores.

No es recomendable tampoco tener las piezas expuestas de forma prolongada a la acción solar.

## 8. TRANSPORTE Y RECEPCIÓN EN OBRA

El transporte de los paneles se hará en pilas horizontales apoyadas sobre tirantes distanciados un máximo de 2,00 metros. La altura de cada pila podrá ser como máximo de hasta 35 paneles.

La manipulación para carga y descarga podrá hacerse por medio de auto elevadores con dos uñas de enganche o mediante grúas u otros dispositivos de izaje con dos puntos de sujeción hasta longitudes de 6 metros. Para longitudes mayores de 6 y hasta 8 m se manipularán con tres puntos de enganche.

## 9. PUESTA EN OBRA

Los paneles se colocan apoyándolos simplemente sobre una cimentación continua tal como una zapata continua o una solera de hormigón en masa o armado según cálculo convencional, dimensionado en función de la resistencia admisible del terreno.

Esta cimentación presentará una armadura de espera, consistente en barras de acero corrugadas de diámetro 6 mm, en números que surjan del cálculo estructural correspondiente de cada obra, con disposición en tresbolillo, es decir alternándose en las caras del panel. La distancia entre las filas de esas barras de espera será igual a la distancia entre los mallazos, es decir, el espesor del núcleo de poliestireno expandido más 25 mm. Estas barras

serán rectas y deberán empotrarse en la cimentación, según marque la EHE, no menos de 20 cm, y deberán sobresalir del plano superior de la cimentación, en una longitud mínima de 35 cm, y se vincularán a las mallas del panel mediante simple atadura. Ver figura 5. Las esperas también podrán colocarse perforando el hormigón de la solera con taladro rotopercutor y fijando las barras al hormigón con un adhesivo epoxi.

La sucesión de paneles vinculados entre sí materializa todos los planos de cerramiento de la construcción: paredes exteriores, muros interiores, losas de entrepiso o forjados y cubiertas de techo. Ver figuras 7, 8 y 9.

Los paneles se vinculan entre sí, a través del solape de 50 mm que presentan sus mallas en caras opuestas; estos solapes serán vinculados por medio de simples ataduras de alambre con una separación de aproximadamente 50 cm. Alternativamente los paneles podrán ser unidos entre sí mediante grapados con grapadoras manuales ó automáticas. Las aristas horizontales y verticales del encuentro entre paneles deberán ser reforzadas mediante mallas angulares dispuestas a lo largo de las mismas y en cada una de sus caras. Ver figuras 6, 7, 8 y 9.

Mediante el corte del panel, se abren los vanos correspondientes a las aberturas, con la holgura mínima necesaria para evitar puentes térmicos (aproximadamente 10 a 20 mm) para la colocación de los marcos, cuyas grapas de fijación se atan de las mallas.

La unión entre muros y forjados se resuelve según figuras 6 y 7, cuidando de dar continuidad vertical a los espesores de hormigón aplicados en las caras de apoyo. Se reforzará los bordes perimetrales del forjado mediante un zuncho de hormigón "in situ" armado con 2 barras de diámetro 6 mm.

Debe asegurarse que los planos de cerramientos sean correctamente alineados y aplomados. Ello podrá ser realizado mediante el empleo de tirantes, reglas metálicas, puntales telescópicos o cualquier otro elemento adecuado a ese fin.

Seguidamente, se podrán ejecutar las canalizaciones en el poliestireno expandido deprimiendo el mismo mediante una pistola de aire caliente, en las que se alojarán los conductos correspondientes.

Una vez realizadas las operaciones descritas se procede a la proyección del hormigón, la que puede realizarse con dispositivos de proyección neumática tipo "hopper gun" conectadas a un compresor de

aire de la potencia adecuada ó con máquinas de proyección continua del tipo PFT, Maltech o similar.

Las gunitadoras tipo “hopper gun” tienen como vehículo para la impulsión de la mezcla fresca, una circulación de aire comprimido abastecida por un compresor que deberá operar a una presión de aire constante de 500 a 600 kPa. Este compresor debe aportar entre 300 y 350 litros de aire por minuto por cada uno de los dispositivos que se empleen conectados a él. En el caso de utilizarse electro compresores, las potencias recomendadas a continuación:

Potencia motor (HP)	Caudal de aire (Litros/min.)	Cantidad de gunitadoras
2 ½ a 4	350 a 400	1
5 a 6	600 a 700	2 a 3
8 a 10	900 a 1000	3 a 4

En el caso de emplearse maquinas de proyección continua deberá ajustarse la posición del hidrómetro en función de:

- 1) Tipo de camisa de bombeo
- 2) Caudal de la misma
- 3) Velocidad de giro del motor
- 4) Peso aparente del mortero industrial
- 5) Porcentaje de agua recomendado por el fabricante del mortero seco.

La proyección del hormigón convierte todos los cerramientos y forjados conformados por paneles, así como a sus uniones, en elementos continuos y monolíticos.

La operación de proyección neumática del hormigón se podrá realizar en una ó dos pasadas. La primera de 2 cm de espesor, que cubre la malla de acero, y la segunda de terminación hasta alcanzar el espesor final necesario de 3 cm. Para ello se podrán utilizar guías, a modo de maestras, que pueden ser simplemente tubos de acero de sección cuadrada de 20 mm, contra los que se cortan los espesores de hormigón proyectados. El enlucido será a elección del proyectista con materiales convencionales (enlucido y pintura sobre superficies maestreadas, yeso, salpicado plástico, pintura elastomérica, etc.).

En el caso de planos horizontales o inclinados, como forjados o cubiertas de techo, una vez colocados y vinculados los paneles entre sí, se apuntalan y luego del primer proyectado de la cara inferior se procede al colado de la capa de compresión, de 5 cm de espesor de hormigón

convencional o del mortero industrial que se emplee en los muros.

Las aberturas deberán tener refuerzos a 45º en los vértices de las mismas y como armadura longitudinal la obtenida mediante cálculo. Estos refuerzos podrán realizarse con mallas especiales que se suministran conjuntamente con los paneles **MK2**, para estos fines. Ver figura 10

Cuando deban empalmarse paneles que se hayan cortado y que por lo tanto no posean los solapes de malla de caras opuestas, se emplearán para estas uniones, unas mallas especiales que permitirán un empalme por yuxtaposición. Estas mismas mallas especiales serán empleadas toda vez que por diferentes razones de obra, deban cortarse las mallas predispuestas de los paneles **MK2**.

El error de aplomado de cara (transversal) de un panel no debe ser superior a 8 mm (sobre la generatriz media). El error de posición (descentramiento) entre las caras colindantes de los paneles superpuestos debe ser inferior a 15 mm.

Se considera como error de ejecución de carácter excepcional, cualquiera de los errores de aplomado y posición que no este dentro de las tolerancias anteriores. Si tales defectos se presentan durante la ejecución, deberán repetirse los cálculos para la justificación de funcionamiento de los elementos interesados.

## 10. MEMORIA DE CÁLCULO

Los edificios construidos con el Sistema Constructivo **MK2** se conciben como estructuras formadas por grandes elementos verticales y horizontales que se constituyen al agruparse los paneles preindustrializados una vez hormigonados en obra. Estos grandes elementos verticales y horizontales, trabajan como secciones compuestas debido a la vinculación que les proporcionen los 80 separadores de acero de 3mm de diámetro por cada metro cuadrado de superficie de panel, de manera tal que las dos capas de hormigón proyectadas trabajan de manera solidaria como sección compuesta.

### 10.1 Elementos verticales

La unión entre cada uno de los elementos es articulada de forma tal que la rigidez transversal de cada elemento vertical es despreciable frente a su rigidez en el plano. El Módulo de elasticidad

longitudinal  $E_x$  es el correspondiente a un hormigón HA25 mientras que el Módulo de elasticidad en la dirección perpendicular es el correspondiente a la sección compuesta y se calculara con el valor  $E_y = 3000$  MPa. Ver figura 14.

Para dar estabilidad a los edificios es necesario que se dispongan paneles en dos direcciones de forma tal que, además de recibir la carga de los forjados, proporcionen la estabilidad transversal del mismo, en dos direcciones, junto con los posibles arriostramientos existentes en cada planta y estudiando en cada caso, la transmisión de la cargas horizontales a través del forjado o de los posibles arriostramientos.

Para la obtención de los esfuerzos de diseño de los paneles, se tendrán en cuenta todas las posibles excentricidades de cálculo de la transmisión de los esfuerzos, efectos térmicos, imperfecciones, etc., dadas en las "Directrices comunes de la UEAtc para la apreciación técnica de procedimientos de construcción a base de paneles pesados prefabricados".

El análisis de solicitaciones de la estructura se realizará utilizando las acciones definidas en la NBE-AE-88 y se dimensionarán las secciones con los resultados obtenidos según la Instrucción de Hormigón Estructural EHE.

Para el armado de las secciones, solo se considerarán las armaduras corrugadas.

## 10.2 Elementos horizontales

En cuanto a los elementos horizontales que constituyen los forjados, estos también se consideran articulados en sus apoyos, es decir que se consideran isostáticos de forma que no se transmite ningún momento de empotramiento a los elementos de sustentación vertical.

La rigidez a flexión de los mismos se limita a la consideración del Módulo de elasticidad longitudinal antedicho  $E_y$  igual a 3000 MPa, y se calcularan dentro de la zona de comportamiento elástico.

El momento de Inercia  $I$  dependerá del espesor de panel seleccionado según el caso. En la siguiente tabla se dan los Momentos de Inercia y los Módulos de Rigidez  $EI$  de diversos paneles de cerramiento horizontal:

PANEL TIPO	$I$ (cm <sup>4</sup> /ml)	$E_y * I$ (Kg cm <sup>2</sup> )
PR 60	20.016,62	6,00 10 <sup>8</sup>
PR 80	28.266,67	8,47 10 <sup>8</sup>
PR 100	38.016,67	1,14 10 <sup>9</sup>
PR 120	49.266,67	1,47 10 <sup>9</sup>
PR 140	62.016,67	1,86 10 <sup>9</sup>
PR 160	76.266,67	2,29 10 <sup>9</sup>

Las inercias han sido calculadas considerando el espesor del panel más un espesor de 5 cm de capa de compresión y más un espesor de 3 cm como recubrimiento inferior en zona de tracción.

Las secciones serán dimensionadas según la Instrucción de Hormigón Estructural EHE.

Los paneles presentan una armadura de barras corrugadas de Ø5 mm. Se incrementarán las barras corrugadas cuando los esfuerzos determinen la necesidad de incrementar la capacidad mecánica de la sección.

Las barras lisas solo trabajan como armadura básica y no se las considera en el cálculo estructural.

En cuanto a los forjados bidireccionales, el criterio de adición de barras perpendiculares vendrán determinadas por el cálculo, no disponiéndose una armadura superior a los que traen los paneles.

Las solicitaciones podrán calcularse con cualquiera de los métodos de cálculo de forjados de hormigón armado convencional.

## 11. REFERENCIAS DE UTILIZACION

El sistema **MK2** está basado en el sistema EMMEDUE con DIT Nro. 431 en el que la fábrica del sistema MK2 se ha montado con la maquinaria y tecnología procedente de Emmedue S.r.L. de Italia, el sistema de puesta en obra está de acuerdo a lo especificado en dicho DIT Nro. 431. El sistema Emmedue viene siendo utilizando desde el año 1980 en diferentes lugares del mundo debido a su presencia con 24 plantas industriales en diversos países. Entre otras, el fabricante aporta como referencia:

	<b>Nº de plantas</b>	<b>Año</b>
Edificio de 30 viviendas en la ciudad de Bilbao	5	2003
Vivienda unifamiliar en Navahermosa (Toledo) de 350 m <sup>2</sup> de superficie.	3	2003
Vivienda unifamiliar en El Molar (Madrid) de 250 m <sup>2</sup> de superficie.	3	2003
Vivienda unifamiliar en Alcolea (Córdoba) de 280 m <sup>2</sup> de superficie.	3	1998
Edificio de viviendas en calle Goya 17 (Madrid) – Rehabilitación (en construcción)	3	2004
Edificio de 16 viviendas en El Barco de Ávila (Ávila) de 1600 m <sup>2</sup>	4	2003
Conjunto de 5 viviendas adosadas en Burgos de 1300 m <sup>2</sup>	3	2003
Vivienda unifamiliar en Castilruiz (Soria) de 450 m <sup>2</sup> (en construcción)	3	2004
Vivienda unifamiliar en Los Carrascales (Cáceres) de 440 m <sup>2</sup> (en construcción)	2	2004

El IETcc ha realizado diversas visitas a obras, así como una encuesta, todo ello con resultado satisfactorio.

## 12. ENSAYOS

Parte de los ensayos se han realizado en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc) cuyos resultados se reflejan en los informes 18.416-1 y 18.416-2; y otra parte de los ensayos han sido aportados por EMMEDUE CONTINENTAL y realizados en otros laboratorios, junto con los ensayos realizados en el DIT nº 431.

### 12.1 Ensayos de identificación al poliestireno expandido

#### 12.1.1 Densidad aparente

Ensayo realizado según UNE 1602 a cinco probetas, obteniéndose como valor medio:

$$d = 14,35 \text{ kg/m}^3$$

#### 12.1.2 Absorción de agua

Método de ensayo A según UNE-EN 1609

$$W = 0,028 \text{ Kg/m}^2$$

#### 12.1.3 Resistencia a compresión

Ensayo realizado según norma UNE-EN 826 al 10 % de deformación, obteniendo el valor de  $\delta_m = 68,5 \text{ kPa}$ .

#### 12.1.4 Resistencia a flexión

Ensayo realizado según norma UNE-EN 12089, método B. Las dimensiones de las probetas han sido de 200 x 90 x 30 mm, obteniendo el valor medio de  $\delta_m = 141,6 \text{ Pa}$ .

## 12.2 Características mecánicas del panel hormigonado

Las características de los materiales, armadura, disposición y número de las mismas en los paneles ensayados, corresponden a lo definido en el capítulo nº 2.1

### 12.2.1 Comportamiento a flexotracción unidireccional

#### a) Objeto del ensayo

Se trata de estudiar el comportamiento mecánico de los paneles sometidos a una serie de cargas verticales que producen esfuerzos de flexotracción.

#### b) Disposición de los ensayos

Se han hormigonado los paneles PR-120, PR-160 y PR-200 con una capa de compresión de 5 cm, y la inferior con un espesor de 3,0 cm. Las dimensiones en planta de los paneles eran de 3,00 x 0,60 m; 3,60 x 0,58 m, y 4,00 x 0,61 m.

Se realizaron tres ensayos con las siguientes luces de cálculo:

PR-120: 2,80 m; PR-16: 3,40 m; 3,80 m para el panel PR.200

Cada panel se situó bajo un pórtico de carga, con objeto de ser ensayado a flexión, aplicando las cargas puntuales en los tercios de la luz y cargando hasta la rotura. Para la realización del ensayo se utilizó un gato AMSLER de 20 kN de capacidad accionado por un dinamómetro AMSLER PM-103.

Para la lectura de la flecha se utilizó un flexímetro, situado en el centro de la cara inferior del panel, que se retiró antes de la rotura del panel. Durante el ensayo, un sistema de adquisición de datos registraba los valores de carga y desplazamiento. El ensayo finalizó cuando se alcanzó la carga de rotura del panel.

### c) Resultados obtenidos

Del estudio de las curvas cargas-deformación, se deduce que las secciones de los paneles trabajan como una sección compuesta formada por dos losas de 5 cm y 3,0 cm unidas por las armaduras de unión trabajando solidariamente, siendo el módulo de rigidez  $EI$  en la zona elástica, el que corresponde a los valores aportados por el fabricante de acuerdo a sus previsiones de cálculo.

#### 12.2.2 Comportamiento a compresión

##### a) Objeto del ensayo

Se trata de estudiar el comportamiento mecánico de un panel sometido a las cargas verticales de los elementos superiores del edificio.

##### b) Disposición del ensayo

Se realizaron dos ensayos a compresión con el fin de estudiar el comportamiento mecánico de los paneles prefabricados PR-80 y PR-40 frente a las cargas verticales de los elementos superiores. Los paneles tenían las cabezas macizas en una altura de 15 cm.

Cada panel objeto del ensayo se colocó perfectamente aplomado entre los platos de una prensa. y se le aplicó una carga repartida a todo lo ancho del panel, mediante un perfil metálico, que se fue incrementando hasta la rotura. La carga se colocó centrada para el panel PR-80 y con una excentricidad de 2,5 cm para el panel PR-40.

La prensa fue accionada por dinamómetro AMSLER PM-103 de dispone de control sobre la velocidad de aplicación de la carga. La carga se fue incrementando con una velocidad de 50 kN/min, hasta alcanzar la de rotura.

### c) Resultados obtenidos

En ambos casos la carga se incrementó a velocidad constante hasta que se produjo el fallo del panel. El panel PR-80 rompió con una carga de 350 kN; el fallo se produjo en la parte inferior por tracción en la unión de una de las caras de 3 cm con la unión de la zona macizada. Este panel se encontraba muy mojado.

El panel PR-40 rompió por pandeo con una carga máxima de 560 kN, estando seco.

En ambos casos, las dos capas de hormigón trabajaron solidariamente, no apreciándose cambios o deformaciones laterales.

#### 12.2.3 Comportamiento a flexión bidireccional

##### a) Objeto del ensayo

Se estudia si una placa compuesta por una serie de paneles que apoyan en los cuatro lados de su contorno, y se ha dispuesto la armadura corrugada en las dos direcciones, se verifica si se comporta como una losa apoyada en sus cuatro lados.

##### b) Disposición del ensayo

Se dispuso de una losa de paneles de PR-120 con un espesor total de 20,5 cm y de unas dimensiones de cálculo en planta de 2,80 m x 2,87 m, apoyada sobre un bastidor metálico, con cuatro apoyos y arriostrados transversalmente. La carga se consiguió situando sobre la losa una piscina y controlando la lámina libre de agua mediante una regleta graduada, situada en el interior de la piscina. Se aplicó un primer escalón de 200 kp/m<sup>2</sup> y, a partir de éste, escalones de 100 kp/m<sup>2</sup> hasta los 860 kp/m<sup>2</sup>. Esta carga se mantuvo 20 horas tras las cuales se midió la flecha.

Para las lecturas de las flechas se utilizaron cinco flexímetros: el primero en el centro de la losa y los cuatro restantes en los medios y a ¼ de la luz del borde, con una precisión de lectura de una centésima de milímetro.

### c) Resultados obtenidos

De la lectura de los flexímetros que estaban en los centros y a ¼ del borde, por tener las deformaciones del mismo orden, se deduce que la placa está trabajando en las dos direcciones y las dos capas de hormigón solidariamente.

Las flechas obtenidas a las 20 horas de haberse cargado la placa, eran similares a las verificadas en el momento de haberse producido el último escalón de carga.

#### 12.2.4 Comportamiento a cortante<sup>(1)</sup>

##### a) Objeto del ensayo

Verificar que en la unión de los paneles horizontales que actúan como forjados, con los paneles

<sup>(1)</sup> Ensayo realizado para la evaluación de DIT 431.

estructurales verticales se realiza la transmisión de las cargas del piso a los paneles verticales, comprobándose el orden de magnitud que resisten a cortantes.

b) Disposición del ensayo

Construido un pórtico en forma de H, formado por dos paneles verticales de PR 40, con dos capas de hormigón de 3 cm, siendo los paneles de 1,125 de ancho con 1,10 m de alto, unidos en su altura intermedia mediante otro panel de PR, siendo sus espesores de hormigón de 5 cm como capa superior y de 3 cm en su cara inferior, y con una longitud de 1,05 m que es la distancia libre entre los paneles verticales y con una anchura de 1,125 m. Ver figura 11.

Unidos el panel que actúa como losa a los paneles verticales, según se indica en el sistema constructivo y arriostrados lateralmente entre sí los paneles verticales, se procedió a aplicar una carga longitudinal en el centro del panel horizontal y en toda su anchura. Para la realización del ensayo se dispuso de un dinamómetro AMSLER PM 103 que dispone de control de velocidad de carga en escalones de 10 kN.

c) Resultado obtenido

La carga última aplicada sobre el panel fue de 74,2 kN, produciéndose la paralización del ensayo, no por agotamiento a cortante de la unión, sino por la rotura a flexión del panel, teniéndose en cuenta las cargas a considerar y las longitudes de los paneles, se verifica que el panel losa transmite los esfuerzos cortantes a sus paneles de apoyo.

*12.2.5 Comportamiento mecánico del panel vertical a esfuerzos horizontales<sup>(1)</sup>*

a) Objeto del ensayo

Se estudia el comportamiento de los paneles verticales frente a una sollicitación horizontal en el plano del panel, que representan los esfuerzos transmitidos por el viento y/o el sismo.

b) Disposición del ensayo

Se colocaron dos paneles de PR 40, con sus capas de hormigón de 3 cm en cada lado y una altura de 2,6 m, sobre una zapata de 2,60 x 0,40 x 0,40 m que se ancló a la losa de la nave. Con ello se evitó el movimiento de la zapata durante la realización del ensayo.

Las uniones entre los paneles entre sí y con la zapata se realizaron según el detalle constructivo del Sistema, como se ha indicado en el punto 9.

La aplicación de la carga horizontal sobre un lateral de la parte superior del panel, se realizó con un gato hidráulico con una capacidad máxima de carga de 200 kN.

La carga se aplicó por medio de un dinamómetro AMSLER PM-103, que dispone de control de velocidad de carga en escalones de 30 kN.

c) Resultados obtenidos

A partir de la aplicación de la carga de 30 kN, en la zapata que sirve de base se fisuran y aprecian grietas a 1/3 de la longitud de la zapata del punto de aplicación de la carga, por no disponer de la armadura superior necesaria, iniciándose en el panel una fisura en vertical en prolongación de la fisura de la zapata.

Entre los 30 kN y los 60 kN, el panel se empieza a despegar de la zapata. El ensayo concluye para un valor de carga de 70 kN por la rotura de la zapata.

El muro formado por los dos paneles permanece recto sin ninguna fisura o grieta, distinta de la horizontal de la unión del muro con la zapata, con una longitud del primer tercio, o sea  $\approx 0,80$  m.

El ensayo nos confirma que las dos capas de hormigón, unidas por la armadura básica, trabajan solidariamente bajo la acción de la carga horizontal en el plano del panel, resistiendo un momento de rotura de 182 kN·m en un ancho de panel de 0,80 m siendo, por tanto, el comportamiento del muro válido y conforme al cálculo estructural.

*12.2.6 Deformabilidad del panel-loso<sup>(1)</sup>*

a) Objeto del ensayo

Estudiar si las flechas o deformaciones que se producen en un panel-loso, producidos por la acción de las cargas permanentes y sobrecargas que actúan sobre el panel, corresponden a las definidas según el modelo teórico de cálculo que indica el fabricante.

---

<sup>(1)</sup> Ensayo realizado para la evaluación de DIT 431.

## b) Disposición del ensayo

El panel PR 80 se dispone con una capa superior de 5 cm como losa de compresión, y de 2,5 cm como de capa inferior. El panel de 1,125 m de ancho y de 3,80 m de largo, dispuesto con una separación entre apoyos de 3,20 m, se procedió a aplicar una sobrecarga uniformemente repartida de 300 kg/m<sup>2</sup>. Para la lectura de las flechas, se colocaron dos flexímetros en el centro del panel y a 10 cm de los extremos del borde de la losa.

## c) Resultados obtenidos

Los flexímetros dieron flechas del mismo orden, con un valor medio de 6,27 mm a la media hora de haberse producido la carga. Se mantuvo la carga durante 24 horas, no produciéndose un incremento significativo de la flecha; al cesar la carga, cesó la deformación manteniéndose una pequeña deformación remanente de 0,7 mm, verificándose que las flechas producidas corresponden al cálculo teórico de los mismos.

## 12.3 Coeficiente de conductividad térmica<sup>(1)</sup>

Ensayo realizado de acuerdo con la Norma UNE-EN 92-202, DIN 52612 y ASTM-C-518, a un panel de PR-80, con espesores de hormigón de 30 mm, de dimensiones de 60 x 60cm, en estado seco.

$$\lambda = 0,50 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$$

## 12.4 Ensayos de aptitud de empleo<sup>(1)</sup>

### 12.4.1 Resistencia al cuerpo blando

Formado un muro con dos paneles y empotrados en una zapata de formas y dimensiones los paneles y zapatas definidos en el apartado 10.2.4 sometido el muro al choque blando de un saco de 50 kg con impactos de 900 y 1.200 julios, con resultado satisfactorio, por cuanto el panel no se fisura.

### 12.4.2 Ensayo de estanquidad a las uniones de paneles<sup>(1)</sup>

Dispuestos 4 paneles de PR 80 de 0,50 x 0,50 m, se proyecta por ambas caras su recubrimiento de 30 mm de hormigón. Pasados 28 días se les sometió a la proyección horizontal con dos pistolas

de agua a una presión de salida de 500 kPa, con orificios de 10 mm y una distancia de 1,0 m, proyectando sobre los centros de los paneles superiores y a 30 cm por encima de la unión horizontal, durante un período de 3 horas, verificándose que no se observó penetración de agua, ni por el propio panel, ni por las uniones, ya sean horizontales o verticales.

## 12.4.3 Ensayo a flexión de dos paneles de forjados<sup>(1)</sup>

### a) Objeto del ensayo

Ensayo para evaluar el grado de transmisión de esfuerzos a través de la unión de dos paneles de forjados, al mismo tiempo que el estudio del comportamiento mecánico de dichas losas sometidas a un esfuerzo de flexotracción.

### b) Disposición del ensayo

El conjunto está formado por dos paneles de PR-80 de 1,125 m de anchura y de una longitud de 3,20 m recubierto con un espesor de hormigón de 5 cm como capa superior y de 2,5 cm, como capa inferior. Los dos paneles están biapoyados sobre unos cilindros de 50 mm de diámetro y una longitud entre apoyos de 2,80 m y unidos entre sí, como se describe en el Sistema, es decir, hormigonados "in situ" conjuntamente y con las armaduras laterales que pasan al panel adyacente.

Solamente a uno de los paneles se le aplicó el pórtico de carga, que corresponden a unos perfiles colocados en los dos tercios centrales. Para la realización del ensayo, se utilizó un gato AMSLER de 200 kN de capacidad accionado por un dinamómetro AMSLER PM-103.

Para la lectura de las flechas se colocaron cuatro flexímetros en los centros de los vanos y a 5 centímetros de los extremos de cada uno de los paneles, con una precisión de lectura de una centésima de milímetro. Durante el ensayo, un sistema de adquisición de datos registraba los valores de carga y deformación. Antes de llegar a la carga de rotura del conjunto se procedió a la retirada de los flexímetros.

### c) Resultados obtenidos

De los gráficos en los que se representa la flecha obtenida para cada uno de los puntos indicados en los paneles en función de la carga aplicada, se ve

<sup>(1)</sup> Ensayo realizado para la evaluación de DIT 431.

que para los flexímetros situados a ambos lados de la unión, las curvas carga-deformación son muy similares, y las gráficas de los cuatro puntos indican que según va incrementándose la carga, se produce un incremento de la flecha a dicho punto, aun cuando las diferencias de deformación entre los puntos extremos sean importantes.

Al llegar a la carga de 25 kN, se procedió a la retirada de los flexímetros, siendo los valores de las flechas para esta carga de 24,87 mm; 16,18 mm; 14,50 mm; y 5,26 mm, incrementándose, a continuación, la carga. A simple vista se veía que ambas losas se deformaban hasta un valor de carga de 39 kN, quedando las losas con este valor deformada; con esta carga la junta no llegó a mostrar ninguna fisura en toda su longitud.

El ensayo nos muestra que la unión entre losas transmite transversalmente las cargas al panel adyacente, pero también nos indica que la transmisión transversal de la carga en este tipo de paneles, es menor que en los paneles de sección completa de hormigón, por lo que, para estos sistemas, no se recomienda la aplicación directa de una carga puntual.

#### 12.4.4 Ensayo de aptitud de empleo mecánico del Sistema<sup>(1)</sup>

##### a) Objeto del ensayo

Estudiar el comportamiento mecánico de las juntas de unión entre paneles horizontales y verticales, en los que unos están sometidos a las cargas verticales de los elementos superiores del propio edificio, más los pesos y sobrecargas del forjado correspondientes al panel horizontal.

##### b) Disposición del ensayo

La estructura estudiada ha sido un pórtico formado, como elementos verticales, los paneles PR 40 con recubrimientos de hormigón de 30 mm, de 1,125 m de ancho y 3,40 m de altura y unidos mediante armaduras de espera sendas zapatas. El panel de forjado es un PR 80, con unos recubrimientos de hormigón de 50 mm de capa superior, 25 mm de capa inferior y 4,20 m de longitud. Este panel horizontal se encuentra a 2,60 m de altura de la zapata. Se procedió, posteriormente, a la proyección de hormigón según se indica en el apartado nº 9.

El esquema del ensayo corresponde a la figura 12. Para evitar los desplazamientos durante la aplicación de la carga se colocó, en los lados

externos de los paneles verticales un puntal metálico por debajo del panel horizontal, quedando exentos y sin apoyos laterales los muretes de 0,65 m que sobresalen del panel horizontal.

El pórtico se ancló a la losa de la nave de ensayos por medio de unas varillas preparadas, al efecto, en el momento de colocar la zapata. Dichas varillas, soldadas a placas y embutidas en el hormigón, descolgaban por la parte inferior de la zapata y a traviesa la losa de la nave de ensayos por las perforaciones que ésta dispone, se fijaron a la misma por medio de placas. Con ello se evitó el movimiento del pórtico durante el ensayo.

Antes de aplicar las cargas sobre el panel vertical, se cargó el forjado con 5 kN/m<sup>2</sup>, materializando la carga repartida por medio de bloques de hormigón. Se mantuvo esta carga durante 24 horas, tras las cuales se midieron los desplazamientos originados.

A continuación se aplicó la carga sobre el panel por medio de gatos hidráulicos. Sobre el panel superior se colocaron dos gatos con capacidad máxima, cada uno de ellos, de 400 kN. Los ejes de los dos gatos estaban sobre el eje del panel, al que previamente se había hormigonado la cabeza de dicho panel en una altura de 10 cm. Con el fin de repartir las cargas sobre el borde del panel, los gatos apoyados sobre un palastro macizo de acero de 4 cm de espesor y 12 cm de ancho, que se encontraba a todo lo largo del borde superior de aquél.

La carga se aplicó por medio de un dinamómetro AMSLER PM-103 que dispone de control de velocidad de carga en escalones de 50 kN, hasta llegar a 375 kN. La velocidad de aplicación de la carga fue de 50 kN/min.

Durante el ensayo se utilizaron tres flexímetros, con precisión de lectura de una centésima de milímetro, con lo que se obtuvieron las flechas que se iban produciendo en el centro del vano del forjado y en el punto medio del panel inferior, en dirección perpendicular a su plano. Con el tercer flexímetro se midió el movimiento del panel inferior en relación con el superior o, lo que es lo mismo, el aplastamiento de la junta. Asimismo se midió este aplastamiento por medio de elongómetro de 40 cm de base con el que se tomaba la lectura en dos puntos del panel.

##### c) Resultados obtenidos

Al estar sin apoyos laterales el panel superior, y al haberse aplicado una sobrecarga de 5 kN/m<sup>2</sup>, en el forjado un 60%, más que la teórica a considerar, se

<sup>(1)</sup> Ensayo realizado para la evaluación del DIT 431.



produjo un giro importante en dicho panel superior, que al aplicar la carga hizo que la rotura de dicho panel se produjera por flexocompresión, fisurándose en su cara exterior, y terminándose el ensayo con un valor de carga de 375 kN, siendo la carga a considerar en los edificios de 4 alturas y una separación entre apoyos de 5,00 m la de 100 kN/ml estando, por tanto, con un coeficiente de mayoración de carga del orden de 3,6 veces, y con la pared superior no arriostrada.

#### 12.4.5 Clasificación de la resistencia al fuego<sup>(1)</sup>

##### 12.4.5.1 Paneles horizontales

Ensayo realizado en el Centro Tecnológico de la Madera, como se indica en el expediente nº F 358/03-02, según Norma UNE 23093-81, A un forjado constituido por paneles **MK2** PR 120, con unas capas de recubrimiento de 50 mm de hormigón y de 30 mm como capa inferior, con un espesor de enlucido en yeso de 10 mm. Las dimensiones del forjado eran de 5,00 x 5,00 m, estando abierto al fuego en su sección cuadrada central de 4,00 m de lado.

El forjado se ha realizado según se especifica en la memoria descriptiva del Sistema, con una sobrecarga aplicada de 320 kg/m<sup>2</sup>, obteniéndose unos resultados de estabilidad al fuego de > 60 minutos, con estanquidad al fuego, no emisión de gases inflamables en el que se detuvo el ensayo.

##### 12.4.5.2 Paneles verticales

Ensayo realizado en el Centro Tecnológico de la Madera como se indica en el expediente nº F 399/03, según Norma UNE 23093-81. A un muro de 3,37 m de longitud por 3,50 m de altura, constituido por los paneles PNS 50, con unos recubrimientos de hormigón de 30 mm en ambas caras, y un enlucido en yeso de 10 mm en ambas caras.

Sometido el panel a una carga total de 10 t, resistió 60 minutos, incrementándose la carga a continuación de 10 t a 30 t, según marca el informe nº F 399/03, resistiendo otros 60 minutos manteniéndose, al cabo de este tiempo, la estabilidad mecánica, la estanquidad a las llamas y la no

emisión de gases inflamables, en el que se detuvo el ensayo.

##### 12.4.5.3 Paneles no portantes<sup>(1)</sup>

Ensayo realizado por el laboratorio CSIRO de Australia, de acuerdo a Australian Standard 1530.4, y con número de certificado 236/90, a un panel PN-60, con dos capas de 30 mm de hormigón armado, ocupando una superficie de 3,00 x 3,00 metros resistió a la acción del fuego de la siguiente manera:

Resistencia estructural  $\geq$  241 minutos.  
Estanqueidad a las llamas > 241 minutos.

##### 12.4.6 Aislamiento acústico

Ensayos efectuados por ENMACOSA, con número C-9756/01, de acuerdo a la norma UNE-EN-ISO 140, realizados en obras construidas de acuerdo con el Sistema. Para una pared exterior formada por un núcleo de EPS de PR 100, y con unas capas de mortero de 40 mm y 50 mm, y revestido con 10 mm de yeso se ha obtenido un valor de aislamiento acústico de 48 dBA.

Para unas particiones interiores formadas por con un panel con núcleo de EPS de PR 40 y capas de mortero de 30 mm en ambas caras, revestidos con 10 mm de yeso, el valor obtenido de aislamiento acústico es de 38 dBA.

El aislamiento acústico al ruido aéreo del forjado, constituido por un PR 150, capa de compresión de hormigón de 60 mm y 30 mm de la cara inferior, con 100 mm de espesor de formación de suelo, es de 49 dBA.

## 13. EVALUACIÓN DE LA APTITUD DE EMPLEO

Los paneles del sistema **MK2** constituyen el cerramiento, los forjados y la estructura o parte de la estructura del edificio.

Para dar estabilidad al edificio es necesario que se dispongan alineaciones de paneles en las dos direcciones para resistir los empujes de viento o del sismo si los hubiere.

En los paneles de forjado se han de dimensionar además de por su Estado Límite Último, por el Estado Límite de Servicio, dentro de la zona de comportamiento elástico.

<sup>(1)</sup> Ensayo realizado para la evaluación del DIT.

El sistema permite la posible incorporación posterior de aislamiento acústico y térmico, de forma que el conjunto panel-aislamiento cumpla los requisitos exigidos por la normativa vigente.

El comportamiento ante el fuego se justificará en cada caso, debiendo establecerse los recubrimientos de armadura que garanticen la estabilidad y resistencia al fuego exigida en la normativa en vigor.

Verificándose en el Manual de Fabricación la existencia del Control de Calidad que comprende:

1. Un sistema de autocontrol, por el cual el fabricante comprueba la idoneidad de las materias primas, proceso de fabricación y control del producto en obra.
2. Comprobación externa del hormigón y el acero por Laboratorios Acreditados.

Y considerándose que los métodos de desarrollo del proyecto, fabricación de paneles, junto con la puesta en obra de la misma están contrastados por la práctica y por los ensayos, se estima favorablemente, en este DIT, la idoneidad de empleo del Sistema propuesto por el propietario.

EL PONENTE

Tomás Amat Rueda  
Dr. Ing. de Caminos, C. y P.

## 10. OBSERVACIONES DE LA COMISIÓN DE EXPERTOS<sup>(1)</sup>

Las principales observaciones de la Comisión de Expertos, en sesión celebrada el día 26 de

---

<sup>(1)</sup> La Comisión de Expertos estuvo integrada por los siguientes organismos y entidades:

- Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España
- Dragados, S.A.
- FCC, S.A. Departamento de Construcción
- Instituto Técnico de Inspección y Control, S.A. (INTEINCO, S.A.)
- Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC)
- Necso, S.A. Dirección Calidad
- Universidad Politécnica de Madrid.
- Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc).

diciembre de 2004 en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, fueron las siguientes:

- Para la viabilidad del Sistema, será preciso disponer, en cada caso que se fuera a aplicar, una memoria técnica de cálculo estructural, incluyendo los estudios en estado límite de servicio, que justifique adecuadamente la buena respuesta y los coeficientes de seguridad exigibles a los elementos estructurales que se vayan a montar, incluyendo las uniones entre ellos y las tolerancias aplicables, así como las soluciones a adoptar para el caso de que hubiere juntas de dilatación, debiéndose prever la correcta unión del panel del forjado a los paneles verticales en las dos alineaciones o direcciones, para garantizar la transmisión de los empujes horizontales que se produjera sobre el edificio, a ambas alineaciones.
- Es fundamental verificar que los conectores estén soldados a las mallas para garantizar que las secciones están trabajando conjuntamente.
- Se considerará como espesor del hormigón, la dimensión medida desde el borde exterior de la onda del E.P.S.
- Para evitar el riesgo de condensaciones, se recomienda prestar atención al conjunto del cerramiento conforme a las Normas Básicas de la Edificación NBE.
- Los recubrimientos mínimos de las armaduras se estudiarán y justificarán en cada caso, y, esencialmente, en situaciones ambientales agresivas o cuando sea necesaria una Resistencia al Fuego determinada.
- Para las sollicitaciones horizontales, ténganse en cuenta los incrementos de dichos empujes, por la consideración de la excentricidad adicional de la acción sísmica, poniendo atención a la baja ductilidad de estos tipos de edificios apantallados.

Figura 1  
Geometría de la onda curva de EPS de los paneles **MK2**

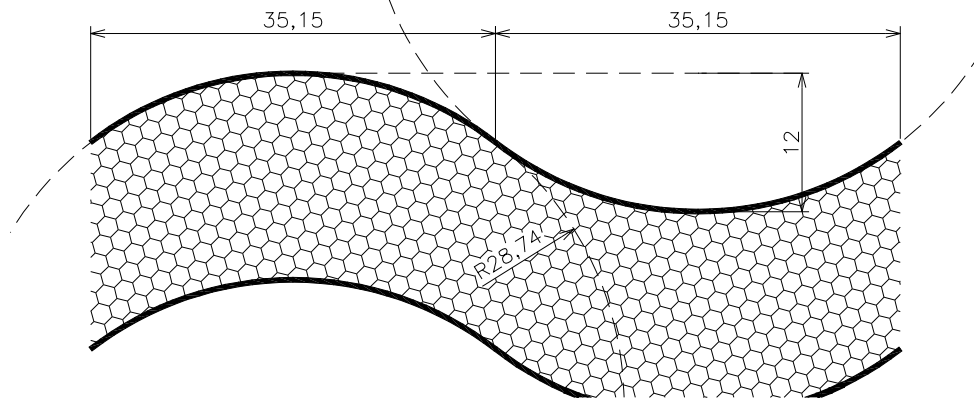


Figura 2  
Panel de muro: Portante (PR), no portante (PN)

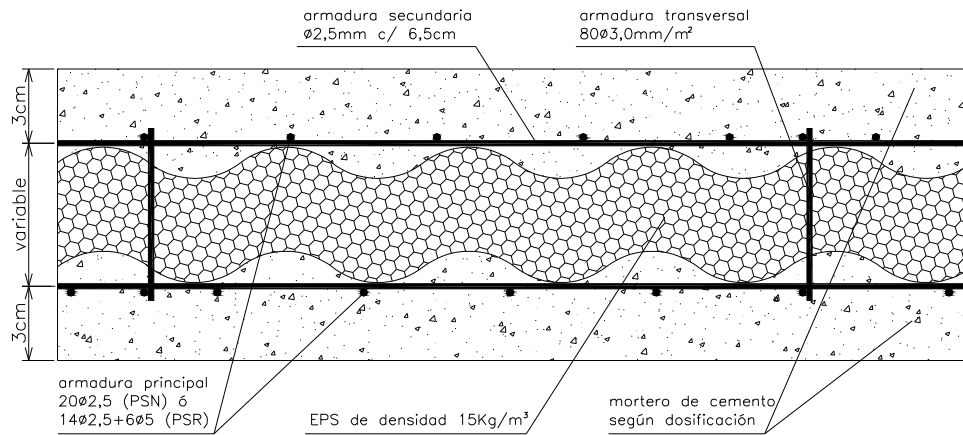
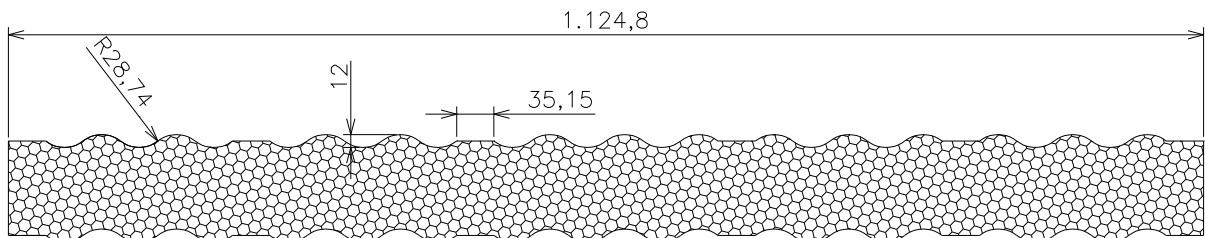


Figura 3  
Sección transversal del panel MK2 entero.



(Cotas en mm.)

Figura 4  
Panel de forjado PR

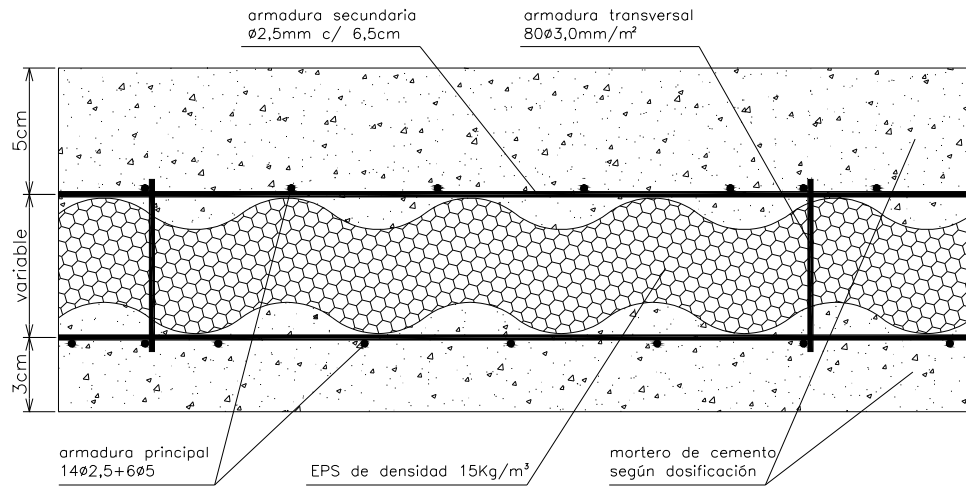


Figura 5  
Detalle de unión de paneles a cimentación

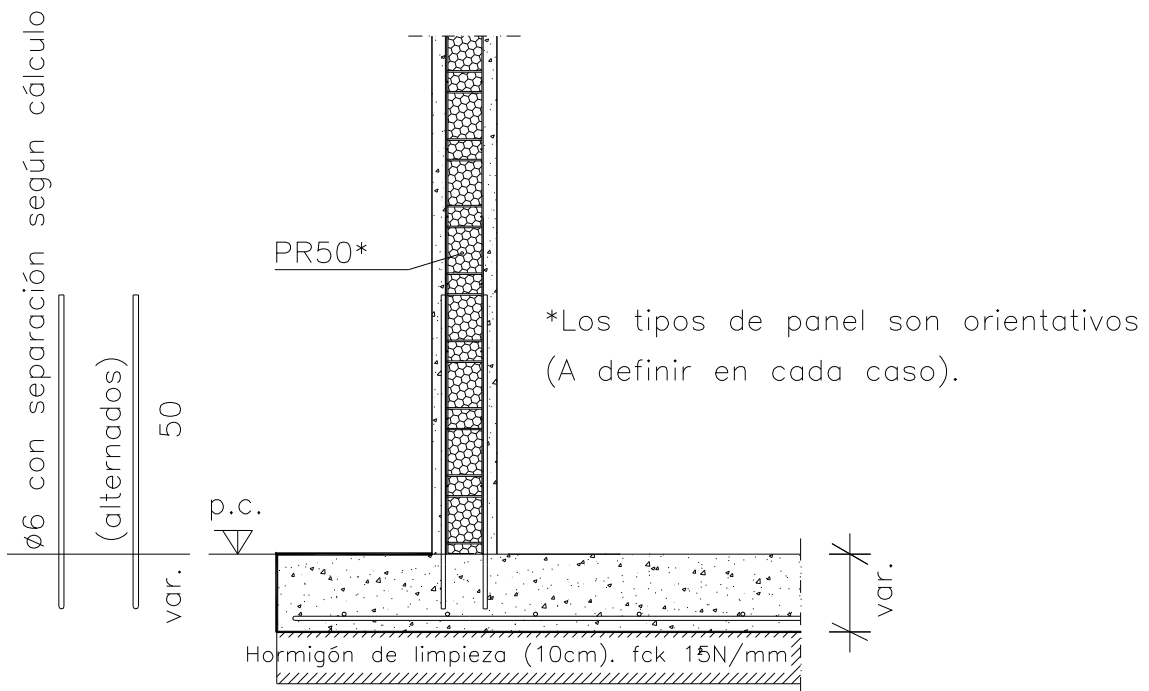
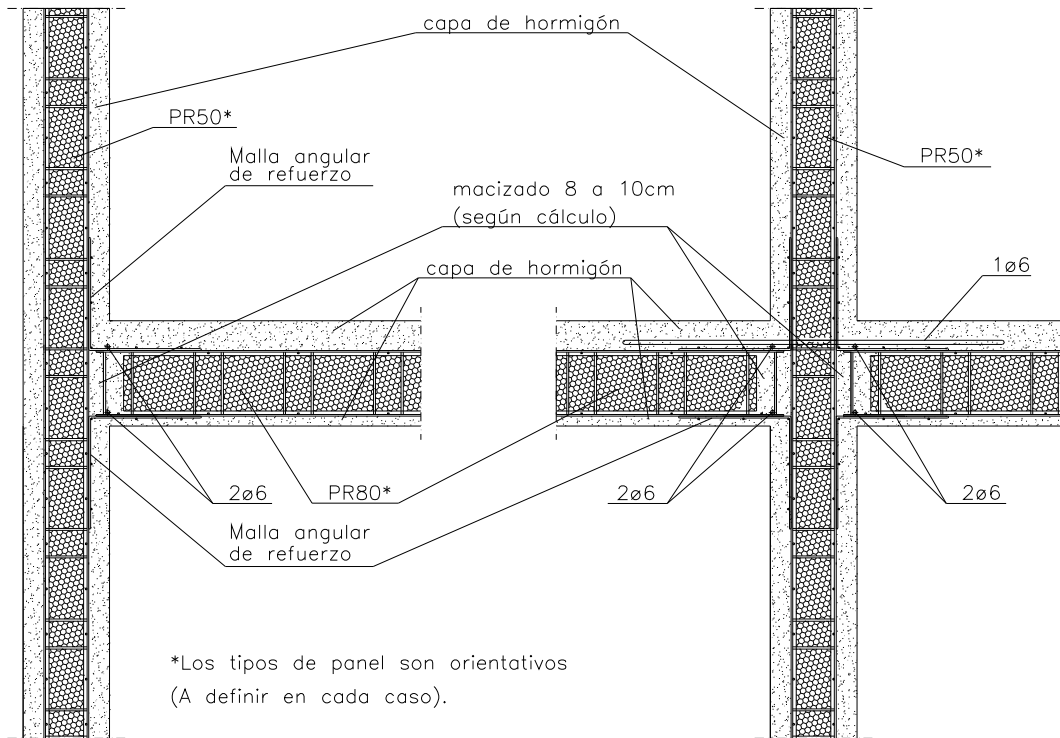


Figura 6  
 Detalles de unión entre muros y forjados (secciones).

Figura 7



Los tipos de paneles son orientativos, a definir en cada caso

Figura 8  
 Detalle de encuentro entre muros (planta).

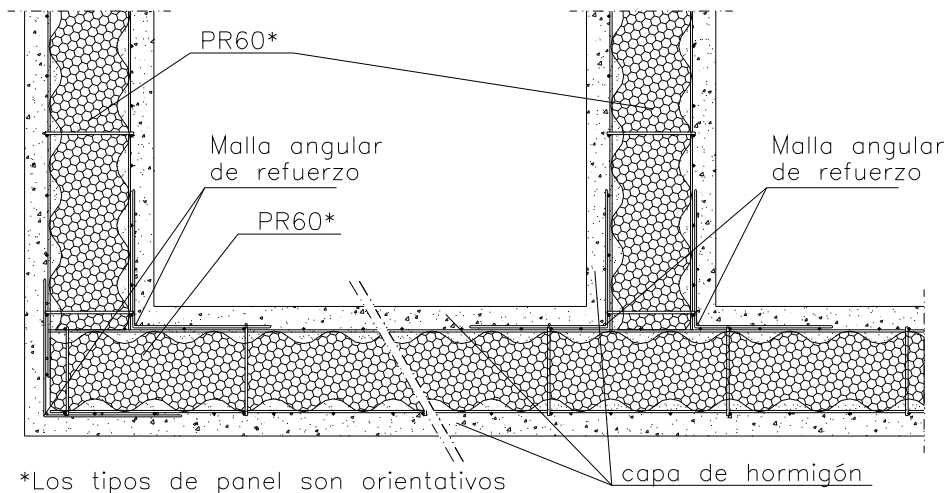


Figura 9

Detalle de unión entre muro y cubierta (sección).

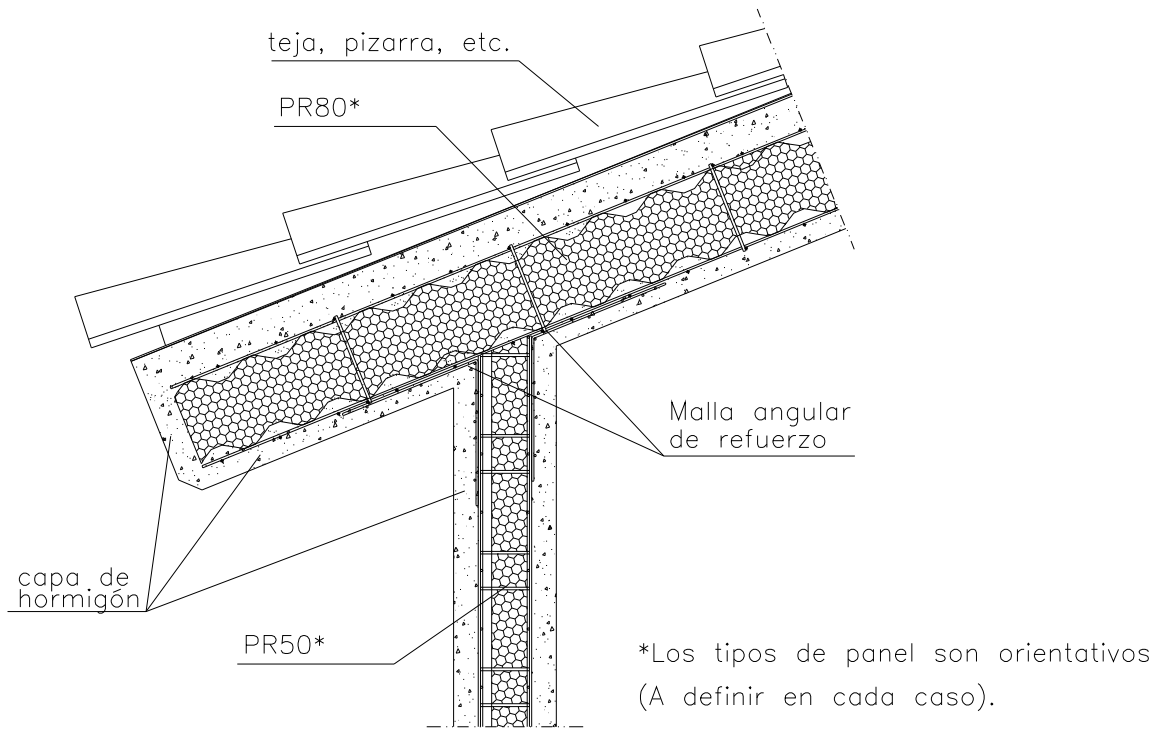


Figura 10  
Solución de hueco de puerta o ventana

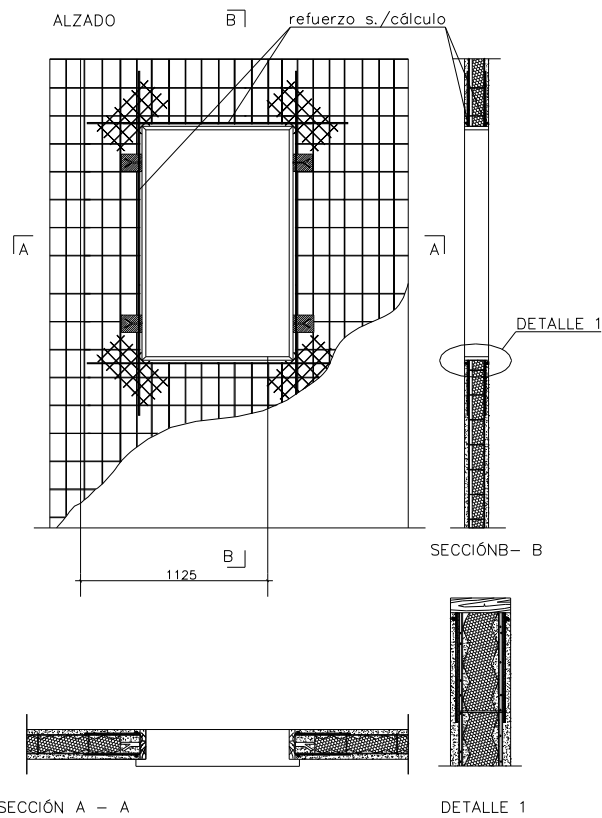


Figura 11

Esquema del ensayo de comportamiento a cortante.

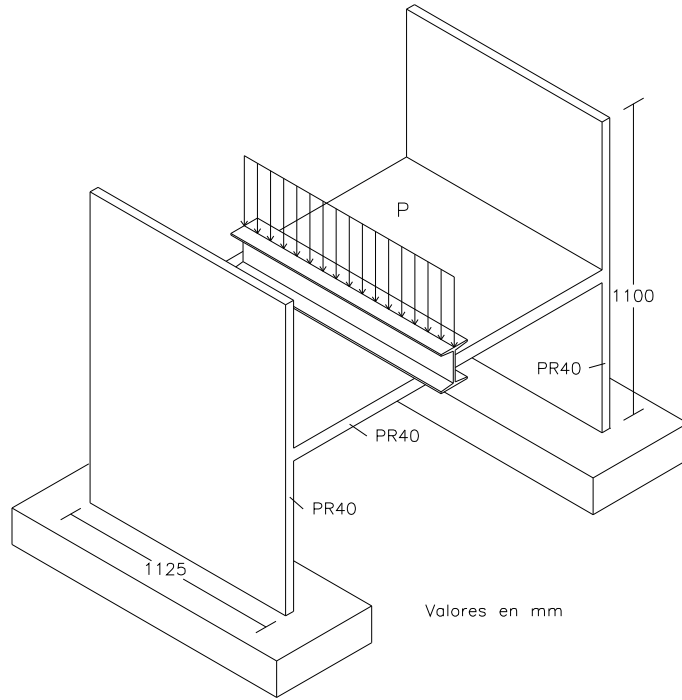


Figura 12  
Esquema del ensayo de aptitud del empleo mecánico del sistema.

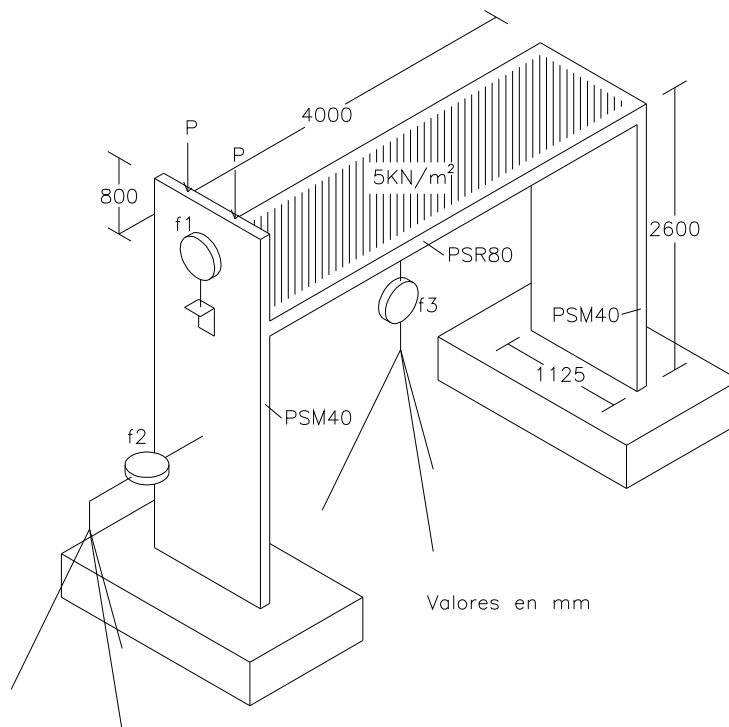
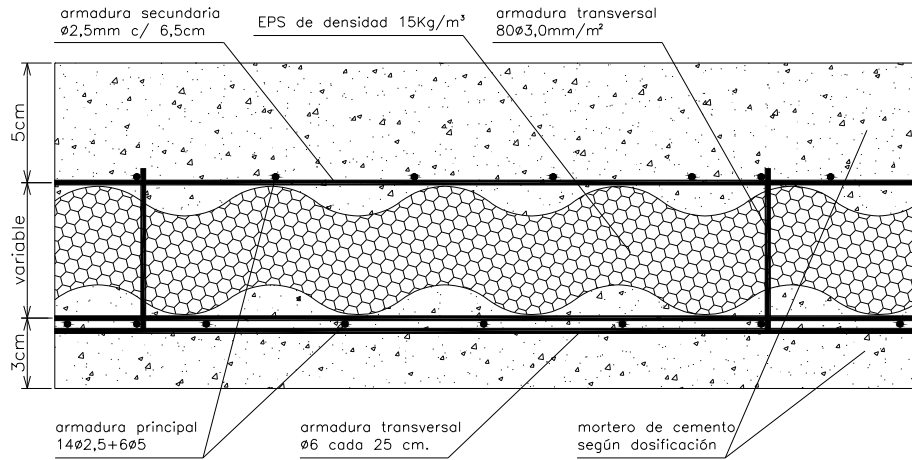


Figura 13

## Panel de forjado bidireccional PR



(Verificar en cada caso los recubrimientos mínimos necesarios según marca la EHE)

Figura 14  
Módulo de Elasticidad

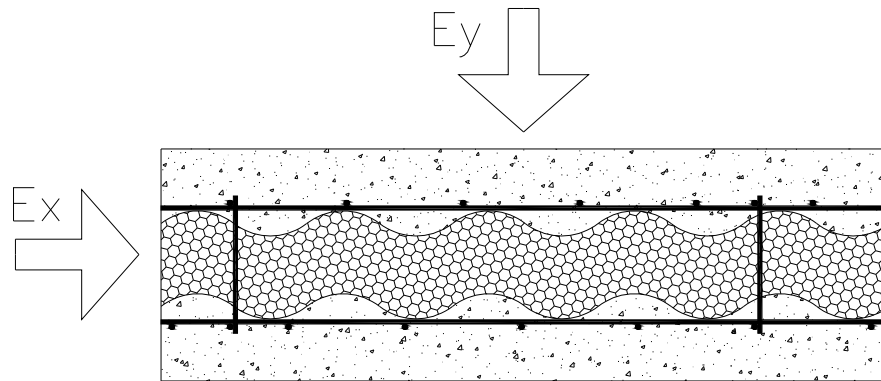


Figura 15  
Esquema del ensayo de losa

